ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 534.6.08

Е.В. Денисова, И.В. Тищенко, А.П. Хмелинин, Я.З. Бадмаева

О ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ПОРОДНОГО МАССИВА БУРОВОЙ МАШИНОЙ ПО ВРЕМЕНАМ ЗАДЕРЖКИ СОЗДАВАЕМОГО ЕЮ АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Акустические методы, основанные на исследовании параметров создаваемого в процессе движения буровой машины в породном массиве сигнала, представлены в [1-5] [1]. Они подразумевают амплитудный и спектральный анализ принятой от излучателя, расположенного на самой машине, информации, по которой судят о местоположении машины в породном массиве. Ниже предложено использовать известный способ измерения трехмерных координат источника динамического воздействия на породный массив по временам задержки создаваемых при этом на поверхности массива акустических сигналов применительно к решению задачи определения местоположения буровой машины. Этот способ подразумевает использование сигнала, создаваемого машиной в качестве задающего для вычисления относительно него значений времен задержки прихода акустического сигнала на приемные каналы, расположенные на поверхности земли.

Для подтверждения возможности реализации такого способа вычисления координат буровой машины были выполнены следующие экспериментальные исследования.

Экспериментальные исследования проводились на полигоне ИГД СО РАН "Зеленая горка". Вблизи места проведения исследований отсутствуют высоковольтные сети, а так же другие подземные коммуникации. Массив можно принять однородным. Во входной приямок запускалась машина "Тайфун-2" (габаритные размеры: длина 550 мм, диаметр 40 мм, энергия удара 22 Дж) на глубину 0,5 м. Акустоэлектрические преобразователи (1...4), в качестве которых использовались акселерометры КД29, размещались на поверхности земли в вершинах воображаемого квадрата со стороной 1 м, крепление акселерометров осуществлялось при помощи шпильки. Акустоэлектрический преобразователь 5 (акселерометр КД29) с помощью магнита крепился к металлическому штырю, соединяемому с задней гайкой машины. Сигналы, принятые с пяти акселерометров поступали на входы многоканального измерительного комплекса PULSE и далее на ноутбук. Для обра-

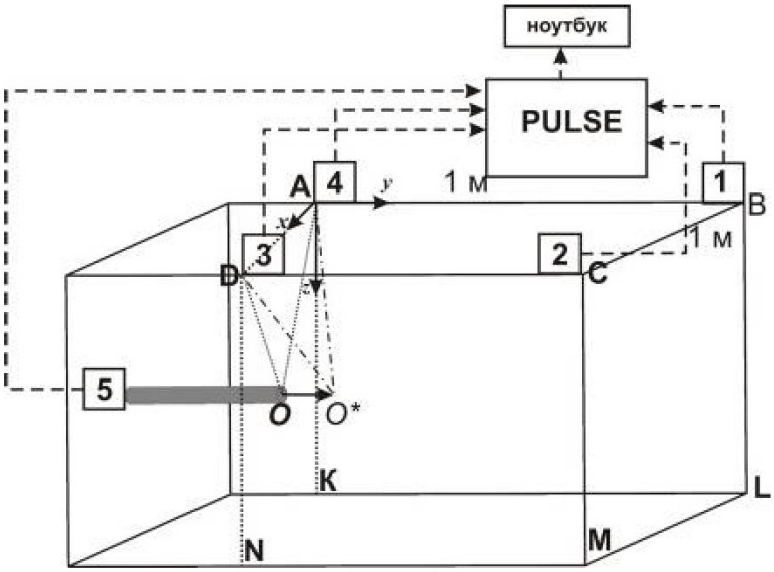

Рис. 1. Схема эксперимента по измерению времен задержки акустического сигнала, создаваемого движением буровой машины в породном массиве

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

ботки экспериментальных данных применялось программное обеспечение Pulse LabShop Version 10.1. Из серии записанных в процессе движения машины сигналов для каждого канала выбирают один импульс с одинаковым порядковым номером. Это позволит исключить из анализа те импульсы, которые соответствуют началу и концу процесса бурения, когда давление подаваемого воздуха не будет постоянно и иметь максимальное значение. Для выбранных по каждому из каналов импульсов, высчитывалось время задержки относительно сигнала, пришедшего с самой машины (5-ый акселерометр), которое заносилось в таблицу с данными для соответствующей координаты. Далее с использованием математического аппарата вычисляют три координаты машины (x, y, z).

За исходные данные для вычисления координат машины используют расстояния между акустоэлектрическими преобразователями 1…4:

a – расстояние между акустоэлектрическими преобразователями: AB=CD=AD=BC=1 м;

h – глубина запуска равна расстоянию AK=0,5 м;

l – длина машины равна 0,55 м;

Начало координат принято в точке A.

t_O – время прихода опорного сигнала на 5-ый акселерометр (для вычислений принимают равным 0);

t_A, t_B, t_C, t_D – времена задержек распространения импульсного акустического сигнала в точках A, B, C, D соответственно относительно сигнала с машины.

При выполнении расчетов учитывалась дополнительная задержка сигнала с самой машины при прохождении им пути равного сумме длин рабочего органа и металлического стержня, на который крепился акселерометр. Расчетное значение времени прохождения такого пути в металле равно 0,14 мс. Схема эксперимента представлена на рис. 1.

При заглублении буровой машины в грунтовый массив на всю длину l и установке акселерометров 1...4 согласно схеме на рис.1, координаты точки O, где формируется импульсный акустический сигнал, относительно начала координат будут равны: $x = \frac{a}{2}, z = h, y = 0$. Зная эти координаты, находят значения скоростей V_A, V_B, V_C, V_D распространения импульсного акустического сигнала до каждого акселерометра 1...4 из системы уравнений (в общем виде):

$$\begin{cases} (OA)^2 = x^2 + y^2 + z^2 \\ (OB)^2 = x^2 + (a-y)^2 + z^2 \\ (OC)^2 = (a-x)^2 + (a-y)^2 + z^2 \\ (OD)^2 = (a-x)^2 + y^2 + z^2 \end{cases}$$

откуда вычисляют:

$$\begin{cases} V_A = OA/t_A \\ V_B = OB/t_B \\ V_C = OC/t_C \\ V_D = OD/t_D \end{cases}.$$

Далее при движении работающей буровой машины, когда ее местоположение неизвестно, по известным скоростям V_A, V_B, V_C, V_D распространения упругих волн в грунте и временам t_A, t_B, t_C, t_D задержки их распространения в нем, после ударного воздействия машины на грунтовый массив, происходит перемещение точки O, где формируется импульсный акустический сигнал, в точку O^* удара. Далее вычисляют расстояния от точки O^* удара до акселерометров 1...4:

$$\begin{cases} O^*A = V_A \times t_A \\ O^*B = V_B \times t_B \\ O^*C = V_C \times t_C \\ O^*D = V_D \times t_D \end{cases}$$

и после этого определяют координаты машины из системы уравнений:

$$\begin{cases} (O^*A)^2 = x^2 + y^2 + z^2 & (1) \\ (O^*B)^2 = x^2 + (a-y)^2 + z^2 & (2) \\ (O^*C)^2 = (a-x)^2 + (a-y)^2 + z^2 & (3) \\ (O^*D)^2 = (a-x)^2 + y^2 + z^2 & (4) \end{cases}$$

Из каждых трех уравнений последовательно вычисляют три координаты. Например, из уравнений (1), (2) и (3) можно получить:

$$\begin{cases} x = \dfrac{(O^*A)^2 - (OD)^2 + a^2}{2b} \\ y = \dfrac{(O^*A)^2 - (OB)^2 + a^2}{2a} \\ z = \sqrt{(O^*A)^2 - y^2 - x^2} \end{cases}.$$

Аналогичным образом проводят вычисления и для систем уравнений (1,2,4), (2,3,4), (1,3,4). В итоге получают 4 набора координат $(x_1, y_1, z_1)...(x_4, y_4, z_4)$, по которым определяют средние арифметические значения трех координат машины:

$$\begin{cases} x = \dfrac{x_1 + ... + x_4}{4} \\ y = \dfrac{y_1 + ... + y_4}{4} \\ z = \dfrac{z_1 + ... + z_4}{4} \end{cases}.$$

Вычисление времен задержек распространения импульсного акустического сигнала до акустоэлектрических преобразователей 1...4 может производиться несколькими методами.

1. Вычисление времен по началу прихода импульса. В этом случае один из импульсных аку-

Таблица 2.Расчетные значения трехмерных координат машины

Величина и направление отклонения машины, м	Реальные значения координат, м			Расчетные значения скорости распространения акустического сигнала, при обработке по уровню k $\cdot U_{max}$, м/с								
				k=0,5			k=0,1			k=0,7		
	x	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*
0,1 вправо	0,40	0,00	0,50	0,30	0,02	0,48	0,12	-0,07	–	0,32	0,02	0,48
0,1 влево	0,60	0,02	0,50	0,70	0,05	0,53	–	–	–	0,68	0,05	0,50

стических сигналов используют как опорный (сигнал с машины) и вычисляют значения времен задержек между моментом времени t_O, когда уровень абсолютного значения опорного сигнала превысил пороговое значение, и моментом времени, когда уровень абсолютного значения сигнала соответствующего акустоэлектрического преобразователя 1...4 превысил пороговое значение. Недостатки такого метода заключаются в низкой точности определения времен задержки из-за высокого уровня шума в полосе полезного сигнала и, как следствие, требуется достаточная величина порогового значения. Но при этом данный метод работает даже при сильных искажениях сигнала вследствие дисперсии среды и возможных ее неоднородностей.

2. Вычисление времен задержек распространения импульсного акустического сигнала по уровню 0,5 или 0,7 от своего максимального значения.

Таблица 1.Рассчитанные скорости распространения акустического сигнала

Обозначение скорости	Расчетные значения скорости распространения акустического сигнала, при обработке по уровню k $\cdot U_{max}$, м/с		
	k=0,5	k=0,1	k=0,7
Va	476	511	450
Vb	324	359	312
Vc	350	408	339
Vd	453	544	436

В этом случае один из сигналов также используют как опорный и вычисляют значения времен задержек между моментом времени, когда уровень абсолютного значения опорного сигнала принимает свое значение $0{,}5 \cdot U_{max}$ или $0{,}7 \cdot U_{max}$, и моментом времени, когда уровень абсолютного значения сигнала соответствующего акустоэлектрического преобразователя 1...4 принимает то же значение $0{,}5 \cdot U_{max}$ или $0{,}7 \cdot U_{max}$. На точность данного метода оказывает влияние искажение формы сигнала вследствие дисперсии среды, либо наличия в ней различного типа неоднородностей. Точность по сравнению с первым методом повышается за счет снижения вероятности ложного срабатывания устройства от воздействия шумовой помехи большой амплитуды.

В табл. 1 представлены результаты рассчитанных скоростей распространения акустического сигнала в массиве, а в табл. 2 – координат машины, на основе практически измеренных времен задержки распространения акустического сигнала в породном массиве.

Экспериментально установлено, что скорость распространения акустического сигнала в породном массиве зависит от расстояния между акустоэлектрическим преобразователем и местом приложения ударной нагрузки. Так, при измерениях в точках B и C скорость распространения акустического сигнала, создаваемого машиной ниже, чем при ее измерении в точках A и D. Это можно объяснить тем, что с увеличением расстояния от места удара до точки, в которой происходят измерения возникает большая вероятность нахождения на пути распространения акустической волны различного типа неоднородностей (например, твердых породных включений). В связи с этим измерения координат машины целесообразно производить, когда машина находится примерно в центре между акустоэлектрическими преобразователями, это позволит избежать погрешностей при последующем вычислении ее координат.

Анализ рассчитанных координат машины по измеренным временам задержки акустического сигнала в массиве (см. данные табл. 2) показал, что наибольшая точность измерений достигается для координат *y* и *z*, она составляет единицы сантиметров или 4-6%. В то время как для координаты *x* точность измерений составляет 15-20%, это может быть связано с погрешностями при измерении скоростей распространения акустического сигнала в породном массиве из-за наличия в нем неоднородностей. Установлено, что на точность вычисления координат машины влияет метод обработки экспериментальных данных. При обработке данных по уровню $0{,}7 \cdot U_{max}$ расчетные значения координат наиболее близки к реальным, а при обработке данных по уровню $0{,}1 \cdot U_{max}$ полученные в результате математических расчетов координаты машины резко отличаются от реальных значений. Это объясняется высоким уровнем шума в полосе полезного сигнала.

Выводы. Экспериментальные исследования и их математическая обработка показали, что по времени задержки распространения акустического сигнала, создаваемого движением буровой маши-

ны в породном массиве, относительно времени прихода опорного сигнала (с самой машины) можно определять ее трехмерные координаты с точностью до единиц сантиметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Денисова Е.В., Тищенко И.В., Конурин А.И.* О результатах испытаний многоканального комплекса для контроля геомеханических процессов // Вестник КузГТУ, 2012. – №6. – С. 16-19.

2. Патент на полезную модель №118765 Измеритель координат импульсного акустического сигнала в среде. Патент РФ на полезную модель / В.Н. Опарин, Е.В. Денисова, С.Ю. Гаврилов, А.И. Конурин, Н.С. Полотнянко // Опубл. Бюл. – 2012. – №21.

3. USA, United States Patent № 6,886,644. Apparatus and method for horizontal drilling / Vermeer Manufacturing Company. USA. Appl. No.: 10/224,205., Publ. May 3, 2005.

4. USA, United States Patent №8,213,264. Method and device of measuring location, and moving object / Samsung Electronics Co., Ltd., USA. Appl. No.: 12/656,024. Publ. July 3, 2012.

5. USA, United States Patent № 8,264,909. System and method for depth determination of an impulse acoustic source by cepstral analysis / The United States of America as represented by the Secretary of the Navy, USA. Appl. No.: 12/698,679. Publ. September 11, 2012.

Авторы статьи

Денисова Екатерина Вячеславовна, канд.техн.наук старший научный сотрудник Института горного дела СО РАН, Тел.(383) 217-09-52, e-mail: slimthing@mail.ru

Тищенко Игорь Владимирович, канд.техн.наук, научный сотрудник Института горного дела СО РАН, телефон (383)217-05-13

Хмелинин Алексей Павлович, аспирант Института горного дела СО РАН,, телефон (383) 217-09-52

Бадмаева Янжима Зандановна, магистрант НГТУ

УДК 534.61

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ, СОЗДАВАЕМОГО НА ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТОВОГО МАССИВА ПРИ ДВИЖЕНИИ В НЕМ ПНЕВМОУДАРНОЙ МАШИНЫ

Использование акустического сигнала, создаваемого движением пневмоударной машины в грунтовом массиве, для определения ее местоположения [2] позволило бы существенно повысить надежность и экономичность современных систем навигации для бестраншейных технологий сооружения подземных переходов. Применение машины в качестве излучателя полезного сигнала исключает необходимость размещения в ее рабочем органе дополнительных устройств, что повышает надежность системы навигации к ударным нагрузкам, и исключает необходимость изготовления дополнительного передающего устройства, что в целом снижает затраты на реализацию системы [1].

Экспериментальные исследования акустического поля, создаваемого движением в грунтовом массиве пневмоударной машины, проводились на полигоне ИГД СО РАН "Зеленая горка". Вблизи места проведения исследований отсутствуют высоковольтные сети, а так же другие подземные коммуникации. Массив, в который запускалась машина можно принять однородным. Во входной приямок помещается пневмоударная машина «Тайфун-2» (габаритные размеры: длина 550 мм, диаметр 40 мм, энергия удара 22 Дж) на глубину 500 мм строго под измерительным акселерометром A_6 (схема эксперимента на рис. 1). Многоканальный измерительный комплекс PULSE располагается на поверхности земли, акселерометры $A_1...A_{11}$ подключены к 11 каналам блока 3053 и устанавливаются на выровненной поверхности земли с шагом 100 мм друг относительно друга вдоль оси x (фотография эксперимента на рис. 2). Для измерения поля, создаваемого машиной вдоль оси ее движения, акселерометры $A_1...A_{11}$ перемещают вдоль оси y (точки с координатами -300, -200, -100, 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 и 800 мм по схеме на рис. 1). Это позволит оценить степень изменения амплитуды акустического сигнала при произвольном расположении приемных каналов относительно пневмопробойника, характерном для проходки реальной скважины.

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