

ПРИМЕНЕНИЕ СЕЙСМОЛОГИИ В РЕШЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО ПРОЕКТА «ДРАКОН»



К. г.-м. н. В. А. Лютов
valutoyev@geo.komisc.ru



М. н. с. В. И. Арухина
lutoyeva@geo.komisc.ru



М. н. с. Н. В. Лютова
lutoyeva@geo.komisc.ru

Летом 2006 г. производственное объединение ЗАО «КЭмон» обратилось в Институт геологии за помощью в решении возникших производственных проблем — определения расстояния от шлифовального цеха до будущей строительной площадки с условием допустимого уровня вибраций, идущих от сваебечной машины на шлифовальный и токарный станки, а также определение влияния вибраций на качество шлифовки валов во время забивки свай. Геофизическая обсерватория «Сыктывкар», имея в наличии соответствующее геофизическое оборудование, взялась за решение этих задач. Для нас появилась прекрасная возможность на практике посмотреть, каким образом меняется приращенная балльность в реальных геологических условиях г. - Сыктывкара от искусственных сотрясений. Полученные статистические данные должны послужить дальнейшему развитию нашей теоретической базы в разработке методики микросейсмораионирования.

Известно, что негативные вибрационные воздействия на промышленных предприятиях возникают чаще всего от работы механизмов, имеющих узлы передачи механических колебаний (фундамент здания или другие инженерные сооружения), распространение которых происходит через окружающую геологическую среду (возможен и обратный вариант). Вибрации от источника воздействия по продолжительности подразделяются на постоянные (производственные предприятия), временные (транспорт, микроземлетрясения) и кратковременные (забивка свай, взры-

вы) [2]. Колебания, распространяющиеся в грунтах под воздействием техногенных или природных источников вибрации, могут привести к изменению состояния и качества геологической среды, в связи с изменениями несущих свойств грунтов, и повлиять на временной отрезок срока службы инженерных объектов и зданий или даже разрушать их, причем в отдельных исключительных случаях капитальный ремонт бесполезен. Неблагоприятное воздействие вибраций (амплитуда, частотный диапазон) может повлиять также и на работоспособность людей, находящихся в этих зданиях. Следует иметь в виду, что основной причиной негативного влияния на несущие свойства грунтов, повреждения зданий и сооружений является не столько амплитуда сейсмического сигнала, сколько длительность времени воздействия источников вибрации, которые ведут к «усталости» грунтов, материалов и конструкций. К настоящему времени доказано, что происходит энергетическое накопление усталости материалов конструкций по нелинейному геометрическому закону [1]. Отображение негативных свойств на геологическую среду, промышленное оборудование, здания и сооружения от вибрационных воздействий носит локальный характер, размеры этого влияния зависят от интенсивности источника колебаний и несущих способностей грунтов. Оценку и прогнозирование этого воздействия и разработку мероприятий по защите от него необходимо решать комплексно для системы «источник вибрации — геологическая среда — инженерный объект».

Аппаратурное обеспечение

Вибросейсмические замеры проводились с помощью цифровой сейсмической станции SDAS, разработанной конструкторским бюро НПП «ГЕОТЕХ+» при Геофизической службе России. Данная цифровая сейсмическая станция состоит из следующих блоков и систем:

- блок регистрации и сбора сейсмических сигналов DASS;
- спутниковая система GPS для привязки к нулевому времени Гринвича;
- трехкомпонентные короткопериодные сейсмоприемники СМЗ-КВЭ-И с рабочей полосой пропускания от 1 до 40 Гц.

Блок регистрации и сбора позволял накапливать сейсмические сигналы на жестком диске в течение длительного времени, что давало возможность в отсутствие оператора проводить фоновый вибросейсмический мониторинг в шлифовальном цехе в вечернее и ночное время. В реальном времени при процессе регистрации вибраций, возникающих во время забивки свай, блок позволял просматривать на мониторе компьютера амплитуду сигнала и в случае превышения допустимых значений уровня вибрации оперативно вмешиваться в работу строителей.

Для синхронизации всех процессов внутри станции и привязки оцифровки данных к шкале мирового времени с максимальной точностью в системе сбора используется дополнительная настройка частоты по 1-секундному импульсу, выдаваемому внешней системой времени GPS.

Датчик приема вибраций состоял из



трех сейсмоприемников. Два сейсмоприемника являлись горизонтальными, они принимали составляющую вектора сейсмического сигнала в горизонтальной плоскости в направлении север-юг и запад-восток, их обычно обозначают значками X, Y или N-S, W-E соответственно. Такое положение сейсмоприемников обычно используется для решения стандартных сейсмологических задач. В нашем случае положение сейсмоприемников менялось в зависимости от решения поставленных задач. Третий сейсмоприемник был ориентирован в вертикальной плоскости, поэтому регистрировал вертикальную составляющую сейсмического сигнала, и обозначался — Z. Таким образом, любой сейсмический сигнал можно было регистрировать по трем координатным осям и определять величину смещения почвы (станка) с привязкой к плану местности. Все сейсмические датчики СМЗ-КВ прошли паспортизацию в 2005 г.

Определение фоновых микросейсм в шлифовальном цехе

Микросейсмический мониторинг в шлифовальном цехе на шлифовальном и токарном станках осуществлялся следующим образом:

— проводились одновременные замеры фоновых составляющих вибраций на станинах импортного шлифовального и отечественного токарного станков по горизонтальным компонентам, ориентированным в одном произвольно выбранном направлении. Замеры проводились в течение одного суточного производственного цикла. Уровень фоновых вибраций можно разделить на две подгруппы:

1) уровень микросейсм при условии работы станков, 2) уровень микросейсм при условии неработающих станков.

Эти замеры позволили определить уровень фоновых составляющих мак-

симальных амплитуд с частотами как посторонних наводящих шумов, так и шумов, идущих непосредственно от работающего электродвигателя станков и движения стола с изделием то-

карно-шлифовальной обработки (табл. 1, рис. 1);

— определялись суточные отклонения уровня вибросейсм от медиального значения (табл. 1, рис. 2);

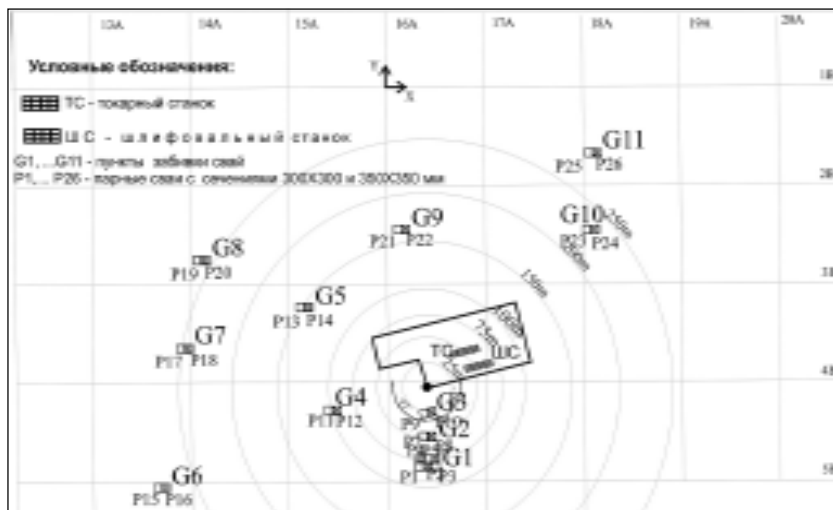


Рис. 1. Схема района проведения вибросейсмических работ с пунктами наблюдений и источниками возмущений

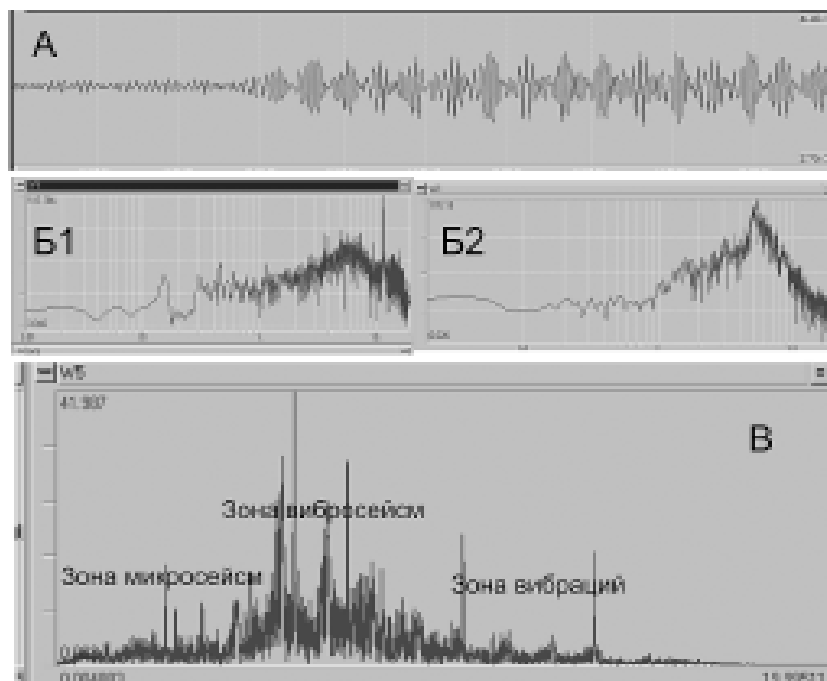


Рис. 2. Характерные кривые и спектры колебательных движений, зарегистрированные в шлифовальном цехе:

A — волновая картина, появляющаяся при забивке свай; B1 — спектр колебаний для шлифовального станка; B2 — спектр колебаний для токарного станка; B — полный спектр колебаний в интервале частот 0–20 Гц

Таблица 1

Уровень фоновых вибросейсм на станинах станков

Виды станков	Уровень микросейсм при условии работы станков (максимальный)						Уровень микросейсм при условии неработающих станков (максимальный)						Суточное отклонение, в %		
	Амплитуды смещений по компонентам X, Y, Z (мкм)			Преобладающие частоты по компонентам X, Y, Z (Гц)			Амплитуды смещений по компонентам X, Y, Z (мкм)			Преобладающие частоты по компонентам X, Y, Z (Гц)					
	Az	Ax	Ay	Fz	Fx	Fy	Az	Ax	Ay	Fz	Fx	Fy	Az	Ax	Ay
Шлифовальный	53	60	53	7.6	7.5	7.5	35	49	46	7.5	7.8	7.5	269	204	460
Токарный	16	10	14	5.4	5.0	5.0	12	6	6.0	5.0	5.0	5.0	137	183	217

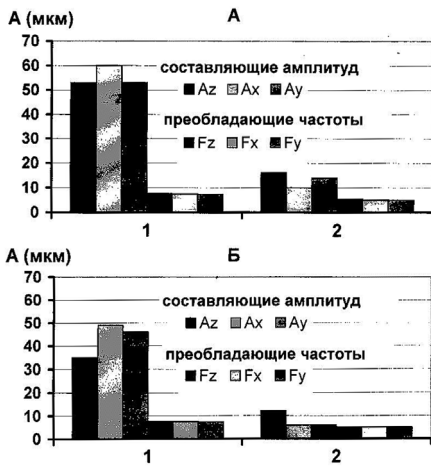


Рис. 3. Уровни микросейсм по Z, X, Y компонентам в интервале преобладающих частот при условии работающих (А) и неработающих (Б) станков
1 — шлифовальный; 2 — токарный

— на шлифовальном и токарном станках определялись горизонтальные составляющие фоновых вибраций в цехе по направлению движения шпинделя станка и перпендикулярно его движению (рис. 3).

При проведении анализа спектров, полученных во время работы шлифовального станка и сваеблочной машины было замечено, что они раскладываются на ряд отличающихся друг от друга составляющих:

- спектр, полученный при ударе молота, имеет частоты от 5 до 8 Гц с различными величинами амплитуды, зависящей от силы удара, грунтовых условий, площади сечения сваи и расстояния;

- спектр фоновой составляющей — при нерабочем состоянии станков и агрегатов, в ночное время;

- линейный спектр — от крутящегося вала с подшипником во время работы шлифовального станка. Он отличается от вышеперечисленных спектров тем, что на нем присутствует регулярная частота, напрямую зависящая от оборотов крутящегося вала с изделием (при шлифовке и при ее отсутствии), которая может составлять дискретные значения по всем трем компонентам сейсмодатчика (6.6; 11.8 Гц). Уровень этой помехи достигает достаточно больших величин, соизмеримых с уровнем вибраций от ударов молота сваеблочной машины в ближних точках: G1, G2, G3.

Определение уровня виброейсм в шлифовальном цехе при забивке свай

Выше было отмечено, что уровень виброейсм (как колебательного про-

цесса) определяется амплитудой колебаний и их спектральным составом. В нашем случае уровень виброейсм оценивался по виброперемещению, выраженному в микрометрах (мкм), в децибелах (Дб), относительно некоторого порогового уровня ($S_0 = 8 \cdot 10^{-12}$ м), и по силе сотрясаемости (М-магнитуда), выраженной в баллах.

Величина виброперемещения бралась непосредственно со спектров, как функции амплитуды смещения от частоты — $A = f(F)$, полученных от различных источников вибраций. Каждому спектру частот соответствует своя величина смещения почвы, из которых выбирались максимальные значения с последующим присуждением имен виброперемещений. Например, фоновая составляющая работы станка, а также отклонение от этой фоновой составляющей, виброейсм от ударов и др.

Для определения уровня вибраций в децибелах использовалась известная формула:

$$L_A = 20LgA/A_0,$$

где L_A — уровень вибрации в децибелах, A — измеренное значение виброперемещения в м, A_0 — пороговое значение параметра в м.

В других странах пороговые уровни имеют иные значения, поэтому при сопоставлении данных необходимо провести перерасчет.

Магнитуда виброейсм определяется с помощью формулы:

$$M = LgA \cdot f,$$

где A — измеренное значение виброперемещения в мкм, f — частота в Гц.

Уровни вибраций, идущих от сваеблочной машины, определялись двумя сейсмоприемниками, Z-вертикальной и X-горизонтальной компонентами. При каждой забивке свай сейсмоприемник X поворачивался таким образом, чтобы горизонтальный маятник прибора испытывал наибольшее качение от распространяющихся упругих колебаний, для вертикальной компоненты Z положение сейсмоприемника не менялось. В этих условиях измерения проводились в плоскости, перпендикулярной распространению фронта волны, что позволяло фиксировать максимальные значения виброейсм, исходящих от ударов сваеблочной машины, не используя третий сейсмодатчик.

На основании проведенных работ по оценке вибрационного воздействия

и восприимчивости геологической среды вблизи шлифовального цеха можно сделать следующее заключение:

- Геологическая среда вокруг шлифовального цеха неоднородна, на это указывает неравномерный характер (не подчиняется закону расхождения энергии) изменения уровня вибраций при забивке свай на одном и том же условно приведенном расстоянии (рис. 4, 5);

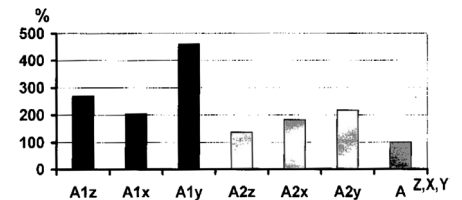


Рис. 4. Суточные отклонения уровня виброейсм на шлифовальном (A1z, A1x, A1y) и токарном (A2z, A2x, A2y) станках (во время работы) от медиального А (фоновый уровень) в процентном отношении

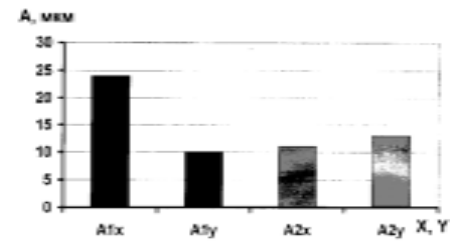


Рис. 5. Горизонтальные составляющие фоновых вибраций на шлифовальном (A1x, A1y) и токарном (A2x, A2y) станках по направлению движения шпинделя станка и перпендикулярно движению

- Амплитуда интенсивности вибраций в процессе забивки свай меняется не только от силы удара молота и смены литологических границ, но и от изменения механических свойств грунтов во время самой забивки. Изменение несущей способности грунтов вблизи забиваемой сваи происходит следующим образом: сначала идет уплотнение грунта (регистрируемая амплитуда увеличивается), затем на некоторой стадии забивки он может перейти в плавунное состояние (G1, G8, G9 — уменьшение амплитуды);

- Интенсивность вибраций несколько увеличивается (от 10 до 50 % и более) при проходке свай через нижележащие, более плотные породы;

- Уровень вибраций на станине токарного станка ниже, чем на станине шлифовального как минимум в два раза (рис. 1). Это заметно как по фоновым составляющим (при работе станков без забивки свай), так и в процессе забивки свай. Технологические подушки по снижению вибрационных



Таблица расчета уровня вибраций в децибелах и баллах

Пункты забивки свай	№ свай	S, м ²	L, в м	А по Z и X компонентам пачало/добивка в мкм		Уровень вибрации L по компонентам Z и X (S ₀ =8×10 ⁻¹²) начало/добивка в дБ		Преобладающие частоты F по компонентам Z и X в Гц		Уровень сотрясаемости M по компонентам Z и X пачало/добивка в баллах	
				Az	Ax	L _{Az}	L _{Ax}	Fz	Fx	Mz	Mx
G1	1	300×300	110	120/140	182/236	44/45	47/49	8/6.9	5.8/5.8	2.98/2.98	3.02/3.14
	2	300×300	110	165/206	374/335	46/48	53/52	5.8/6.4	6/6	2.98/3.12	3.35/3.3
	3	300×300	110	166/247	242/530	46/50	50/56	5.8/7	6/6	2.98/3.3	3.16/3.5
	4	350×350	110	201/241	252/518	48/50	50/56	7/6.7	6/5.6	3.15/3.2	3.18/3.46
	5	350×350	110	224/211	488/385	49/48	56/54	7/6.8	5.9/6.2	3.2/3.16	3.46/3.38
	6	350×350	110	200/130	210/245	48/44	48/30	5.5/5.4	6/6	3.04/2.85	3.1/3.17
G2	1	300×300	91	138/182	159/208	45/47	46/48	5.5/5.7	5.7/5.7	2.88/3.02	2.96/3.07
	2	350×350	91	325/325	218/218	52/52	49/49	6/6	6/6	3.29/3.29	3.12/3.12
G3	1	350×350	84	274/330	268/318	51/52	51/52	6/6	6/6	3.22/3.30	3.21/3.28
	2	300×300	84	336/575	251/520	52/57	50/56	6.4/5.4	5.9/5.6	3.33/3.49	3.17/3.46
G4	1	300×300	168	226/151	244/59	49/46	50/37	5.8/5.4	6.2/5.5	3.13/2.91	3.18/2.51
	2	350×350	168	119/665	83/97	43/58	40/42	6/5.7	6/6.7	2.85/3.58	2.70/2.81
G5	1	350×350	190	105/142	67/68	42/45	38/39	5.5/5.7	5.6/5.7	2.76/2.91	2.57/2.59
	2	300×300	190	97/239	57/117	42/150	37/143	5.3/5.1	7/5.1	2.71/3.09	2.6/2.78
G6	1	300×300	330	68/80	53/42	39/140	36/134	5.8/5.8	7.5/6.9	2.6/2.67	2.6/2.46
	2	350×350	330	98/87	75/72	42/141	39/139	7.4/7.1	7.3/7.1	2.86/2.79	2.74/2.71
G7	1	300×300	292	14/14	8/8	25/125	20/120	6/6	5/5	1.92/1.92	1.6/1.6
	2	350×350	292	17/32	7/13	27/132	19/124	6.1/5.7	5/5.7	2.02/2.26	1.54/1.87
G8	1	300×300	315	61/112	64/58	38/143	38/137	5.7/5.9	7.5/6.6	2.54/2.82	2.68/2.58
	2	350×350	315	118/62	66/27	43/138	38/131	6/6.2	6.5/6.8	2.85/2.58	2.63/2.26
G9	1	300×300	168	154/252	142/146	46/150	45/145	5.5/5.6	6.6/6.5	2.93/3.15	2.97/2.98
	2	350×350	168	113/210	111/187	43/148	43/147	5.8/5.9	6.8/6.8	2.82/3.09	2.88/3.1

Примечание. Точка забивки свай: G7 — для токарного станка, остальные точки — для шлифовального станка.

воздействий на станки качественно отличаются друг от друга, для токарного станка технология изготовления более удачная;

- Наиболее высокий уровень вибраций исходил при забивке свай в точке G3, где на станине шлифовального станка по вертикальной компоненте он достигал величины 575 мкм, что соответствует уровню сотрясения почвы 3.49 балла. По горизонтальной компоненте из этой же точки была зарегистрирована поперечная вибросейсмическая волна, которая смещала станину станка почти на такую же величину — 520 мкм, что соответствует уровню сотрясения почвы 3.46 балла;

- В зависимости от положения точек забивки свай по отношению к станкам было замечено, что превалирует интенсивность поперечной или продольной волны в точке наблюдений, исходя из этого, на шлифовальный вал или шпиндель станка будет воздействовать сила нормальная или к тангенсальная. Тангенсальная сила оказывает большее негативное влияние на чистоту обработки валов, чем нормальная.

Такая взаимосвязь — влияние положения источника вибраций и амплитуд различного типа объемных волн, возникающих от удара. Тангенсальная составляющая больше нормальной в 1.3—1.7 раза;

- Сечение свай в основном играет роль в момент ее дозабивки, увеличивая при этом силу вибрации на 10—20 % (наблюдается до появления плавности);

- Известно, что предельно допустимая величина вибрационного воздействия на инженерные объекты составляет 73 дБ [2], при этом происходит разрушение сооружений в процессе дилатансии грунтов, служащих основанием для фундамента. В нашем случае максимальный уровень вибраций достигал 57 дБ, такая величина соответствует вибрации от проезда транспорта весом в три-четыре тонны на удалении 15—20 м;

- В процессе мониторинга вибросейсмических воздействий на шлифовальный станок были замечены помехи, не входящие в частотный спектр ударной волны с фиксированной час-

тотой 6 и 11.8 Гц, которые мы отнесли к неисправной работе самого станка.

Для сопоставления полученных данных вибросейсмического мониторинга и принятия решения по определению минимального расстояния от места забивки свай до цеха необходимы паспортные данные для импортного шлифовального станка, где были бы указаны предельно допустимые нормы влияния посторонних величин вибраций на допустимое качество изготавливаемой детали. Такие данные, к сожалению, не были предоставлены заказчиком. При появлении таких данных ответ можно найти из вышеприведенной таблицы. Тем не менее «Кэмон» получил ряд рекомендаций от геофизиков Института геологии.

С точки зрения научного интереса, геофизики получили данные, которые можно использовать в построении схемы микросейсмозащиты в масштабе 1:5000 на территории СЛПК (на сегодняшний день масштаб составляет 1:25000) [3], а также несколько под другим углом взглянуть на явления, сопутствующие увеличению балльности.

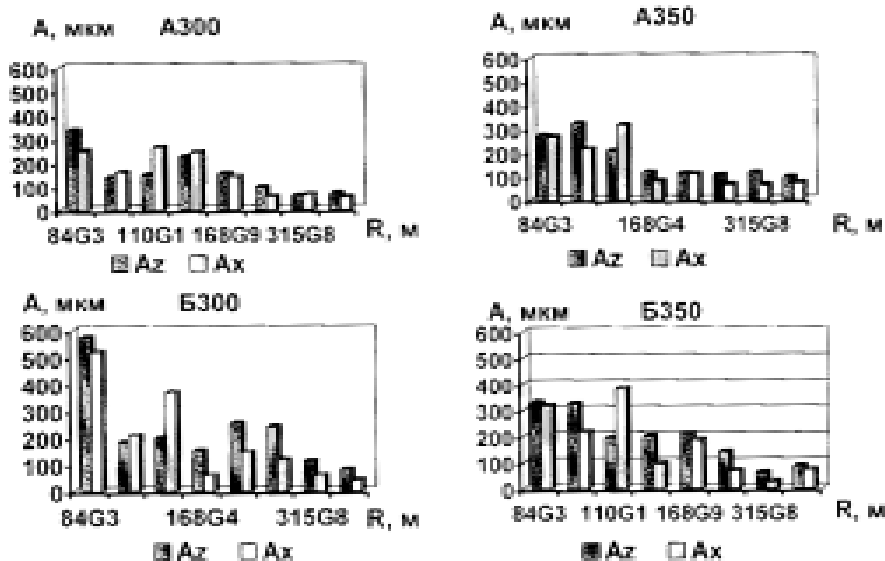


Рис. 6. Зависимости изменения уровня вибросейсм от расстояния и грунтовых условий для вертикальной и горизонтальной компоненты

A300, A350 — уровень вибраций, исходящих от рыхлых грунтов при забивке свай сечением 300×300 и 350×350 мм; *B300, B350* — уровень вибраций, исходящих от плотных грунтов при забивке свай сечением 300×300 и 350×350 мм

В результате, внести поправки при вычислении этих приращений. Так, например, предварительно обобщая полученные данные этих исследований, можно высказать предположение, что любая сейсмическая волна (энергетически достаточно мощная), воздействуя на грунты (вторая и третья категории) в райо-

не Сыктывкара, будет распространяться в пределах мощностей (10—20 м) по усилению балльности, подчиняясь закону интерференции и когерентности волн. В местах, где наблюдаются грунты, способные к переходу в плавунное состояние, энергия сейсмической волны будет переводить устойчивое состо-

яние грунтов в пльвуны, снижая при этом энергию воздействия ударной волны, часть энергии со сменой длины волны (увеличится) уйдет дальше и усилит воздействие на окружающие объекты. В районах, где грунты имеют более прочные механические свойства, энергия сейсмической волны полностью перейдет на промышленный объект (длина волны уменьшится). Именно такие моменты были видны при регистрации вибросейсм в шлифовальном цехе. На сегодняшний день процесс анализа полученных данных еще не завершился, необходимо привлечь предыдущие данные по бурению и провести совместно интерпретацию.

Литература

1. Ананьин И. В. Влияние многократно сейсмических воздействий на степень повреждений зданий // Источники и воздействие разрушительных сейсмологических колебаний. М., 1990. С. 142—148. (Вопросы инженерной сейсмологии, Вып. 31).
2. Локишин Г. П., Чеснокова И. В. Транспортные магистрали и геологическая среда (оценка техногенного воздействия). М.: Наука, 1992. 112 с.
3. Лютеев В. А. Сейсмогенные зоны Республики Коми и особенности микросейсмрайонирования г. Сыктывкара. Сыктывкар: Геопринт, 2001. 32 с.

НИНА СТЕПАНОВНА ПОПОВА

27 октября 2006 г. отмечает 80-летний юбилей старейший сотрудник шлифовальной мастерской Нина Степановна Попова.

Нина Степановна родилась в маленькой деревушке Вельского района Архангельской области в семье трудолюбивых крестьян. Нине не исполнилось и 15 лет, когда началась Великая Отечественная война. Все четыре года войны Нина работала токарем в механических мастерских Вельского леспромхоза, на локомотиве электростанции.

С 1946 г. Нина Степановна живет в Республике Коми. 20 лет (с 1962 по 1982 г.) Н. С. Попова трудилась в шлифовальной мастерской Института геологии Коми филиала АН СССР. Сотрудники института помнят Нину Степановну как отличного специалиста по изготовлению палеонтологических ориентированных шлифов (в частности, кораллов), как доброжелательного и отзывчивого человека, всегда готового прийти на помощь.

За честный самоотверженный труд Нина Степановна заслуженно награждена медалью «За доб-



лестный труд в Великой Отечественной войне 1941—1945 г.», медалью в честь 100-летия со дня рождения В. И. Ленина, медалью «Ветеран труда», Почетной грамотой в ознаменование 250-летия Академии наук (1974).

Дорогая Нина Степановна, неутомимая труженица, усердная и успешная дачница, заботливая мама, добрая бабушка и прекрасная хозяйка! От всего сердца поздравляем Вас с юбилеем и искренне желаем Вам крепкого здоровья, счастья, тепла, солнца, добра и всего самого наилучшего на долгие-долгие годы!

С уважением и любовью коллектив шлифовальной мастерской Института геологии Коми НЦ УрО РАН.

Г. Панфилова