

## О ВИБРАЦИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТАХ

Вибрация — одна из наиболее распространенных помех при выполнении геодезических измерений, вызываемая многими источниками. Это стационарные вибрационные поля, образующиеся вокруг агрегатов, имеющих роторы вращения или возвратно-движущиеся массы, и нестационарные вибрационные поля, возникающие вблизи движущегося транспорта, в районе работы ударных механизмов, а также при выполнении измерений в ветреную погоду. Вибрационное воздействие, вызываемое практически всеми источниками, в значительной степени осложняет процесс измерений, а зачастую вообще препятствует выполнению геодезических работ. Рассмотрим технические параметры транспортных, промышленных и других видов вибрации, с которыми приходится встречаться геодезисту в реальных условиях.

Транспортные вибрации представляют собой сложные аperiodические процессы с изменяющейся во времени амплитудой и могут вызывать как собственные, так и вынужденные колебания системы штатив—геодезический прибор.

Они возникают из-за нерегулярных ударов колес транспортных средств о полотно дороги. При этом полотно дороги упруго деформируется так, что возникают поверхностные волны колебаний, которые передаются через штатив геодезическому прибору. Вибрации при уличном движении носят случайный характер и представляют собой отдельные резкие удары длительностью от 0,01 до 0,1 с со скоростью распространения от 150 до 400 м/с [8]. Диапазон частот транспортной вибрации лежит в пределах 5...50 Гц [7, 8]. Автомобили с резиновыми шинами вызывают вибрацию с частотой 20...25 Гц, трамваи — 40...

45 Гц. Наибольшее вибрационное воздействие на геодезические приборы оказывают тяжелые грузовые автомобили, различного рода тракторная техника, движение железнодорожного транспорта. По мере удаления от источника вибрации амплитуды колебаний грунта уменьшаются за счет увеличения фронта волны и рассеивания энергии колебаний. Так, непосредственно у бровки дороги амплитуда может достигать 60 мкм для трамваев, 20 мкм для автобусов и грузовых автомобилей, 5 мкм для легкового транспорта и мотоциклов. При удалении на расстояние 10 м от проезжей части амплитуда транспортной вибрации уменьшается в 2—3 раза [8, 9].

Аналогичными по действию на геодезические приборы являются вибрации из-за ветровой нагрузки. Ветер, действуя на штатив, вызывает собственные его колебания, которые при постоянной нагрузке могут быть и незатухающими. Амплитуда колебаний головки штатива и прибора зависит от скорости ветра. Так, при скорости ветра 5 м/с амплитуда колебаний головки штатива составляет около 3 мкм параллельно направлению ветра и 1,5 мкм — перпендикулярно [8]. При определении особенностей воздействия различных источников вибрации отмечалось, что влияние вибрации, вызываемой действием ветра, одно из самых труднопреодолимых. Такого типа вибрации кратковременны, резки и нерегулярны, поскольку ветер обычно дует порывами и с различной силой. Так, высокоточное геометрическое нивелирование приборами с компенсатором выполнять невозможно при скорости ветра 2,5 или 3,5 м/с и длине визирного луча свыше 40 и 25 м соответственно [7].

В геодезической практике известен целый ряд способов, исключающих или уменьшающих воздействие ветра и транспортной вибрации на результаты измерений. Для устранения влияния вибрации, вызываемой ветром, наиболее эффективен до настоящего времени метод «избегания», т. е. при сильном или порывистом ветре либо не проводят геодезических измерений, либо защищают приборы от ветрового воздействия, устанавливая их в укрытых защищенных местах или используя для этой цели специальные защитные экраны (например, из брезента или другого материала).

Для исключения влияния транспортной вибрации измерения либо проводят в те моменты, когда нет движения транспорта, либо устанавливают геодезические приборы за зоной так называемых «запретных» расстояний. Зоны «запретных» расстояний, определенные для различных типов нивелиров, находятся в пределах 20...50 м в зависимости от вида транспорта [7, 8].

Таким образом, при геодезических наблюдениях наиболее трудно устранить не случайные вибрации, а стационарные, вызываемые работой промышленного оборудования.

По характеру действия источники вибрации на производстве можно разделить на три основные группы.

В первую группу входят машины ударного действия — копы, паровые и механические молоты, ковочно-прокатные станы,

щекковые и гирационные дробилки и т. п. Такие машины вызывают низкие по частоте и с большой амплитудой непериодические вибрации. Эти вибрации затухающие, что обусловлено тормозящими силами внутреннего трения материала основания, на котором установлен штатив с прибором. Частота вибрации, возникающей от ударного воздействия, обычно не превышает 2... 3 Гц, а чаще меньше 1 Гц. Амплитуды вибрации могут достигать 3... 5 мм [5].

При выборе способа защиты геодезических приборов от действия такого вида вибрации следует учитывать ее непериодический характер, но наиболее целесообразно останавливать источники на время проведения измерений.

Ко второй группе относятся машины и двигатели с кривошипно-шатунным механизмом и с возвратно-движущимися массами. Это двигатели внутреннего сгорания, паровые машины, лесопильные рамы, строгальные, зубодолбежные, шлифовальные станки и т. п.

У машин с кривошипно-шатунным механизмом движение поршней в цилиндрах и шатунов, а также вращение коленчатых валов образуют переменные силы, изменяющиеся по периодическому закону. Машины могут быть с горизонтально или вертикально расположенными цилиндрами, от чего будут меняться условия воздействия машин на фундамент и грунт, а через них и на геодезические приборы.

Вибрации, вызываемые работой машин второй группы, периодические с основной частотой первой гармоники, не превышающей 5... 8 Гц и амплитудой 80... 100 мкм. Однако наряду с частотами вибраций, кратными частоте вращения коленчатого вала, отмечаются также высокочастотные колебания фундаментов с частотой 35... 60 Гц и амплитудой 5... 20 мкм [3, 4].

Машины, имеющие роторы вращения или вращающиеся массы, относятся к третьей группе. Это различного рода электродвигатели, металлорежущие станки, центробежные насосы, турбоагрегаты, центрифуги и т. п. Вибрации, образующиеся от таких источников, возникают в результате действия центробежных сил, из-за эксцентricности вращающихся деталей станка и обрабатываемой детали, неуравновешенности роторов двигателей и т. п. Для таких вибраций характерна строгая периодичность и постоянство, а частота, зависящая от числа оборотов ротора, не превышает обычно 100 Гц [1].

Как видим, диапазон частот промышленной вибрации достаточно велик, а параметры ее разнообразны. Практические исследования, проведенные на машиностроительных заводах и предприятиях электронной промышленности, показали, что вибрационное воздействие в вертикальном и горизонтальном направлениях практически одинаково и имеет моно- или полигармонический характер [4]. Отмечается, что допустимые пределы параметров вибрации, установленные санитарными нормами и стандартами, во многих случаях не выдерживаются, а амплитуды вибрации на рабочих местах и особенно вблизи источников

намного превышают допуск [1, 3]. Существенные амплитуды виброперемещения от 0,5 до 30 мкм наблюдаются на частотах до 60 Гц [4]. Замеры параметров вибрации основания на различных энергетических сооружениях (ГРЭС, АЭС, ТЭЦ) показали, что амплитуды могут достигать 80...100 мкм в диапазоне частот до 100 Гц [3, 6, 10]. Ниже приводим параметры вибраций, вызываемых работой технологического оборудования:

Источники вибрации	Частота $f$ , Гц	Амплитуда $S$ , мкм
Машины и механизмы ударного действия	1—5	до 3000
Машины и агрегаты с кривошипно-шатунными механизмами	5—8	до 80—100
возвратно-движущимися массами	35—60	5—20
Машины и механизмы, имеющие роторы вращения		
на промышленных сооружениях	до 60	5—30
на энергетических объектах	до 100	до 80—100

Известно, что наибольший объем геодезических работ в условиях вибрации приходится выполнять при наблюдениях за деформациями на промышленных предприятиях, энергетических, гидротехнических и некоторых других сооружениях. Поэтому для проведения вибрационных испытаний геодезических приборов и разработки методов их виброзащиты необходимо установить границу уровня возмущающей вибрации. Обобщая изложенное, ограничим уровень технологических вибраций величиной, равной постоянной амплитуде виброускорения  $a=2 \text{ м/с}^2$  в частотном диапазоне 10...100 Гц. По нашему мнению, такой уровень в основном реально отражает параметры вибраций, существующих на территории промышленных предприятий. Например, на часто встречающейся в практике геодезических работ частоте вибрации 50 Гц он соответствует амплитуде виброперемещения 20 мкм. Отметим, что предложенный уровень удобен в применении и может использоваться для оценки виброустойчивости приборов, для расчета и проектирования виброзащитных методов и средств, для составления программы вибрационных испытаний и т. п.

Однако вышеизложенное не является исчерпывающим заключением по данной проблеме. Сведения литературных источников разрозненны, неполны и часто неконкретны. Данные об уровне вибрации на производстве практически отсутствуют. Это, по нашему мнению, обусловлено тем, что виброметрические измерения проводятся крайне редко, нерегулярно и не на всех предприятиях, причем такие работы выполняют, как правило, лишь по требованию работников санэпидемстанций. Многие крупные производства не имеют специального отдела или группы, занимающихся виброметрическими измерениями. Мало готовится и специалистов, профессионально занимающихся данной проблемой. В связи с этим следует остановиться на следующей проблеме.

Известно, что устойчивость, прочность и надежность инженерных сооружений прямо зависят от интенсивности вибрационного воздействия, создаваемого технологическим оборудованием. В литературе описывается целый ряд случаев, когда вибрация приводила к разрушению и авариям различных объектов, к человеческим жертвам. Очевидно, что с дальнейшим усложнением технологических процессов, насыщением производства мощными агрегатами, создающими сильные динамические нагрузки на инженерные сооружения, количество таких случаев не уменьшится. Однако до сих пор в стране не проводятся системные и комплексные виброметрические измерения. Поэтому современной и чрезвычайно актуальной задачей является разработка основ и создание геодезической виброметрии, включение ее составной частью в инженерную динамическую геодезию. Эта идея, высказанная в [2]; пока не находит своего воплощения, хотя насущность его очевидна.

Процесс измерения вибраций как по методам, так и по средствам заметно отличается от традиционных геодезических измерений. Но лишь при сочетании геодезических и виброметрических измерений можно составить четкую картину и прогноз состояния инженерного сооружения, например, при помощи специальных планов или карт распространения вибраций с указанием зон различной частоты и амплитуды. Систематическое проведение таких работ позволит регулярно и надежно оценивать устойчивость инженерных сооружений и подверженность их деформационным процессам.

Реализовать идею о постоянных виброметрических измерениях на всех крупных инженерных сооружениях в стране довольно сложно. Тем более, если для этого создавать отдельную отрасль науки и техники, целенаправленно готовить новые кадры, создавать специальные службы на предприятиях. Значительно проще осуществить эту идею, нацелив на выполнение виброметрических измерений геодезические службы, которые обладают высококвалифицированными кадрами и базой, имеющейся практически в каждом регионе страны.

1. Вибрация энергетических машин. Л., 1974. 2. Видуев Н. Г., Дружинина М. Е. Геодезическая виброметрия // Инженерная геодезия. К., 1978. № 21. С. 48—55. 3. Потемкин Г. А. Вибрационная защита и проблемы стандартизации. М., 1969. 4. Тарасов С. Б. Исследование параметров возмущающих вибраций, действующих на приборы для линейных и угловых измерений // Измерительная техника. 1974. № 10. С. 25—26. 5. Тихомиров Ю. Ф. Промышленные вибрации и борьба с ними. К., 1975. 6. Уставич Г. А., Костина Г. Д. Геодезические работы при строительстве и эксплуатации крупных энергетических объектов. М., 1983. 7. Costachel A., Ulea E., Nematzu M. Der einfluss der vibrationsquellen auf das automatische geometrische nivellment // Vermessungstechnik. Bd. 15. N 5. S. 177—183. 8. Gommel K. Erschutterungsunempfindliches pendel als automatischer neigungskompensator fur geodatische gerate // Feingeratetechnik, 1980, Bd. 29, N 10. S. 444—449. 9. Heene G. Der einfluss grobstadtischer verkehrerschutterungen auf feinnivellire // Vermessungstechnik. 1965. Bd. 4. N 13. S. 137—140. 10. Veselu M. Vliv periodického chveni na nivelaci // Geodetický a kartografický obzor. 1974. Vol. 20. N 12. P. 340—345.

Статья поступила в редколлегия 14. 11. 90