

БЕЗОПАСНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

УДК 624.042.8(031)

УЧЕТ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ ПРИ МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ ОСНОВАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ЦЕЛЮ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Н.Н. Гусев, В.И. Яковлев, А.В. Бажухин

Рассматриваются влияющие факторы при проведении мониторинга изменения состояния строительных конструкций и грунтовых оснований зданий и сооружений. Обоснована необходимость учёта влияющих факторов при эталонировании объекта вибрационной диагностики.

Ключевые слова: *безопасность конструкций зданий и сооружений, тестовая и функциональная вибрационная диагностика, мониторинг изменения состояния, влияющие факторы, эталонирование, диагностические признаки.*

ГОСТ 22.1.12-2005 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования» [1] устанавливает категории потенциально опасных объектов, зданий и сооружений, подлежащих оснащению структурированными системами мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИС). СМИС - построенная на базе программно-технических средств система, предназначенная для осуществления на указанных категориях объектов автоматического мониторинга систем инженерно-технического обеспечения, состояния основания строительных конструкций зданий и сооружений, технологических процессов, сооружений инженерной защиты и передачи в режиме реального времени информации об угрозе и

возникновении чрезвычайных ситуаций, в т.ч. вызванных террористическими актами, по каналам связи в органы повседневного управления единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций [1].

Подсистемой СМИС является система мониторинга инженерных (несущих) конструкций, опасных природных процессов и явлений (СМИК). Подсистема СМИК предназначена для осуществления в режиме реального времени контроля изменения состояния оснований строительных конструкций зданий и сооружений; сооружений инженерной защиты, зон схода селей, оползней, лавин в зоне строительства и эксплуатации объекта мониторинга с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций.

Подсистема СМИК является средством получения объективной информации, обеспечивающей безопасность конструкций зданий и сооружений.

Подсистемы СМИК формируются на основе средств технической диагностики.

Согласно ГОСТ 20911-89 «Техническая диагностика. Термины и определения» [2] техническая диагностика - определение технического состояния объекта. Традиционно подсистемы СМИК формируются средствами тензометрической, геодезической и вибрационной диагностики.

В последнее время приоритет отдается средствам вибрационной диагностики как средствам, обеспечивающим максимальную оперативность.

Гусев Николай Николаевич, директор ООО «НПФ «Лидинг», доктор тех. наук, профессор. Россия, Санкт-Петербург, e-mail: goussev_nn@mail.ru.

Яковлев Владимир Иванович, технический директор ООО «Промтехэксперт», начальник отдела экспертизы технических устройств ООО «НТЦ Экспертсервис». Россия, Санкт-Петербург, доктор тех. наук, профессор, e-mail: lubov_y@mail.ru.

Бажухин Александр Викторович, инженер ООО «Промстандарт»; ассистент, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики. Россия, Санкт-Петербург, e-mail: bazhukhin@gmail.com.

Вибрационная диагностика включает в себя теорию, методы и средства обнаружения и поиска дефектов технической природы в объектах на основе анализа колебательных процессов в системах диагностирования. При этом характеристики исследуемого колебательного процесса, содержащие информацию о параметрах технического состояния объекта, принято называть *диагностическими признаками* дефектов. Под дефектом понимается любое несоответствие параметров и характеристик объекта заданным или требуемым значениям. Дефектом может быть и усталостная трещина, и изменение физико-механических свойств материала в процессе эксплуатации, и ряд других отклонений эксплуатационных характеристик объекта от нормативных значений.

В зависимости от характера объекта в основе процедуры вибрационного контроля может быть либо *функциональная диагностика*, либо *тестовая диагностика*.

Функциональная диагностика базируется на регистрации и анализе вибрационных сигналов, излучаемых объектом в процессе его эксплуатации.

Тестовая диагностика базируется на воздействии на объект контроля с помощью некоторого *стандартного вибрационного воздействия*, называемого *тестовым*. Параметры тестового воздействия специально подбираются так, чтобы, с одной стороны, повысить информативность и чувствительность диагностических признаков, а с другой стороны, не вызвать в диагностируемой системе необратимых изменений ее технического состояния. К тестовой диагностике прибегают в тех случаях, когда объект либо вовсе не излучает вибрацию в процессе функционирования, либо если регистрация и анализ вибрационных характеристик в эксплуатационном режиме затруднены. После выбора наиболее чувствительных диагностических признаков строится регрессионная модель, отражающая количественную взаимосвязь между величиной диагностического признака и параметрами технического состояния объекта.

Из теории колебаний механических систем известно [4-8], что собственные частоты колебаний λ_i всего сооружения в целом как жесткого тела на грунтовом основании и несущих конструкций – λ_j относительно опорных узлов этих конструкций являются функциями массы динамической системы M и ее жесткости C . Если в процессе эксплуатации здания (сооружения) параметры M и C остаются неизменными, то неизменными остаются и собственные частоты колебаний λ_i, λ_j .

В настоящее время диагностика технического состояния здания (сооружения) базируется на постулате, который гласит, что если в процессе эксплуатации здания (сооружения) изменяются (уменьшаются) собственные частоты колебаний λ_i

и λ_j , то это означает, что произошло снижение жесткости C грунтового основания (по параметру λ_i) или несущих конструкций (по параметру λ_j) при условии, что масса строительного объекта и его несущих элементов $M_{i,j}$ остается неизменной.

В свою очередь, снижение жесткости C является следствием изменения упругих и деформативных свойств грунтового основания и дефектов несущих конструкций, появившихся в процессе эксплуатации здания (сооружения).

Таким образом, смещение собственных (резонансных) частот колебаний λ_i, λ_j в спектрах Фурье $G_B(\omega)$ вибрационных ускорений $\ddot{v}(t)$ является объективным и информативным диагностическим признаком изменения состояния грунтовых оснований и появления дефектов в несущих конструкциях, что указывает на необходимость детального обследования этих конструкций визуальным осмотром и средствами неразрушающих методов контроля.

Указанный способ широко используется в практике диагностирования технического состояния зданий и сооружений. Однако одним из его принципиальных недостатков является необходимость *эталонирования* объекта перед началом эксплуатации, так как заключение о техническом состоянии объекта делается на основе сопоставления численных значений диагностических признаков, полученных в ходе испытаний (мониторинга), с их эталонными значениями, заранее полученными для бездефектной конструкции. В ряде случаев (например, для зданий и сооружений, давно находящихся в эксплуатации) за эталонное состояние принимается состояние, зафиксированное при предыдущем диагностировании. Такой подход снижает информативность метода и позволяет только выявить тенденцию изменения состояния относительно некоторого условного уровня, за который принято состояние, зафиксированное при предыдущем диагностировании.

Кроме того, при проведении вибрационной диагностики (как тестовой, так и функциональной) остро встает вопрос обеспечения одинаковых (эталонных) условий возбуждения колебаний конструкций или грунтового основания здания или сооружения, так как от этого зависят параметры колебаний, которые и являются диагностическими признаками состояния конструкций или грунтового основания. В противном случае сравнивать результаты не представляется возможным.

При всех различиях тестовой и функциональной вибрационной диагностики при их проведении необходимо обеспечить абсолютную идентичность не только условий возбуждения колебаний, но и условий проведения натурного эксперимента (мониторинга). Рассмотрим эти условия (или

влияющие факторы) и проанализируем их влияние на конечный результат.

1. Температура окружающей среды

Данный влияющий фактор определяет жесткость материалов конструкций, и, следовательно, и частоту колебания конструкции. Температурные напряжения изменяют жесткость конструкции, например, защемленных балок или плит покрытия (перекрытий). При смерзании сооружения с грунтовым основанием увеличивается присоединенная масса, участвующая в колебании сооружения, что также влияет на частоту колебания сооружения в целом.

Влияние данного фактора особенно чувствительно в регионах с резко-континентальным климатом.

2. Влажность (или водонасыщенность) конструкций

Данный влияющий фактор, кроме увеличения массы, также часто определяет жесткость материалов конструкций (например, замерзание влаги, пропитавшей утеплитель). Водонасыщение грунтового основания приводит к изменению работы системы «сооружение – грунтовое основание», что приводит к изменению частоты колебаний данной системы. От влажности снега зависит значение снеговой нагрузки на здание или сооружение и т.д.

3. Схема загрузки сооружения эксплуатационными нагрузками

По данным СП 20-13330-2010 «Нагрузки и воздействия» [9] различаются постоянные и временные (длительные, кратковременные и особые) нагрузки и воздействия, которые могут меняться от одного цикла диагностики к другому, при этом в определенные моменты могут иметь неблагоприятные сочетания. Естественно, что схема загрузки будет меняться при перераспределении материалов по площадям складов, заполнении и опорожнении резервуаров, перемещении грузоподъемных и транспортных средств на промышленных предприятиях. Для спортивных и зрелищных сооружений схема загрузки будет меняться в соответствии с заполняемостью спортивных залов и стадионов, эффекта «бегущей волны» и т. д. Т.е. масса объекта и ее распределение по объему объекта может меняться.

4. Внешний фон вибраций

В городской черте, как правило, это вибрации от динамических воздействий городского транспорта, в промышленных зонах – от технологического оборудования, а также от транспорта, в том числе железнодорожного. Указанные воздействия в определенных условиях могут использоваться для возбуждения колебаний при функциональной диагностике. В отдельных случаях параметры фоновых вибраций соизмеримы с параметрами вибраций от тестовых возбуждений колебаний.

5. Метеоусловия (осадки, ветер, облачность)

Осадки и ветер не требуют специальных комментариев. А облачность, в том числе нижняя граница облаков, существенно влияет на параметры импульса возбуждения в виде взрывной волны, что иногда используется в практике диагностики состояния зданий и сооружений, расположенных вблизи карьеров [11-13]. Известны случаи, когда амплитуда возрастала в несколько раз.

6. Гидрогеологические условия

Этот влияющий фактор связан с сезонными колебаниями уровня грунтовых вод и обусловлен изменением модуля упругости грунтового основания при его водонасыщении, а также с объемом присоединенной массы грунта участвующей в колебании системы «сооружение - грунтовое основание».

7. Параметры импульсов возбуждения колебаний

Параметры импульсов возбуждения (амплитуда, длительность, длительность фронтов (или форма импульсов), частота, точка приложения и направление) определяющим образом влияют на амплитуду колебаний конструкций, состав гармоник и скорость затухания колебаний, а порой и на частоту колебаний. При определенных условиях, например, при длительности импульса возбуждения, равной периоду собственных колебаний конструкции, или попадании импульса возбуждения в противофазе с колебаниями конструкций, колебания могут вообще не возбудиться или затухнуть. Тем не менее, в нормативных документах параметры возбуждающих воздействий и способы их задания не регламентированы и имеют чисто описательный характер. Так, в СП 79.13330-2012 «Мосты и трубы. Правила обследования и испытаний» [10] можно найти такие указания: «Для определения динамических характеристик сооружений следует использовать подвижные, ударные, вибрационные, ветровые и другие нагрузки, способные вызвать появление устойчивых колебаний (в том числе свободных)» или «при динамических испытаниях пешеходных мостов возбуждение собственных колебаний конструкций следует производить посредством раскочки, сбрасывания грузов, движения (ходьбы и бега) по мосту отдельных пешеходов или групп их и т.д.». В этом же нормативном документе можно встретить такие указания: «Возмущающие динамические силы в виде периодически повторяющихся импульсов могут быть созданы посредством проезда двухосного автомобиля по порожкам (доскам, уложенным поперек проезда), удаленным один от другого на расстояния, равные колесной базе автомобиля». В ГОСТ 22.1.12 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования» [1] и ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» [3] параметры импульсов возбуждения вообще не рассматриваются.

8. Параметры эксплуатационной среды средств измерения

Любое средство измерения имеет погрешность, значение которой напрямую связано с условиями эксплуатации (температурой и влажностью воздуха, атмосферным давлением). Пределы этой погрешности (допускаемой основной относительной погрешности) определены в паспортах на средства измерения, а сами средства измерения периодически поверяются. Однако в состав средств диагностики кроме первичных преобразователей и вторичной аппаратуры входит кабельная сеть, обладающая определенными параметрами (сопротивлением, емкостью и индуктивностью), значения которых зависят от параметров окружающей среды и срока службы сети. Эта зависимость особенно проявляется при передаче аналоговых сигналов, так

как вызывает искажения передаваемого сигнала, что выражается в падении амплитуды, сдвиге фазы и размывании фронтов. При этом приходится учитывать наличие и уровень электрических помех.

Необходимо учесть, что перечисленные факторы часто имеют взаимное влияние и не могут рассматриваться обособленно от других.

Отдельные факторы поддаются корректировке от цикла к циклу диагностики (например, положение грузоподъемных и транспортных средств), а некоторые нет (например, гидрогеологические и метеорологические условия).

На рис. 1-4 представлены экспериментальные данные, полученные авторами при оценке влияния фоновых вибраций на выходной сигнал комплекта тензометрической диагностики подсистемы СМИК.

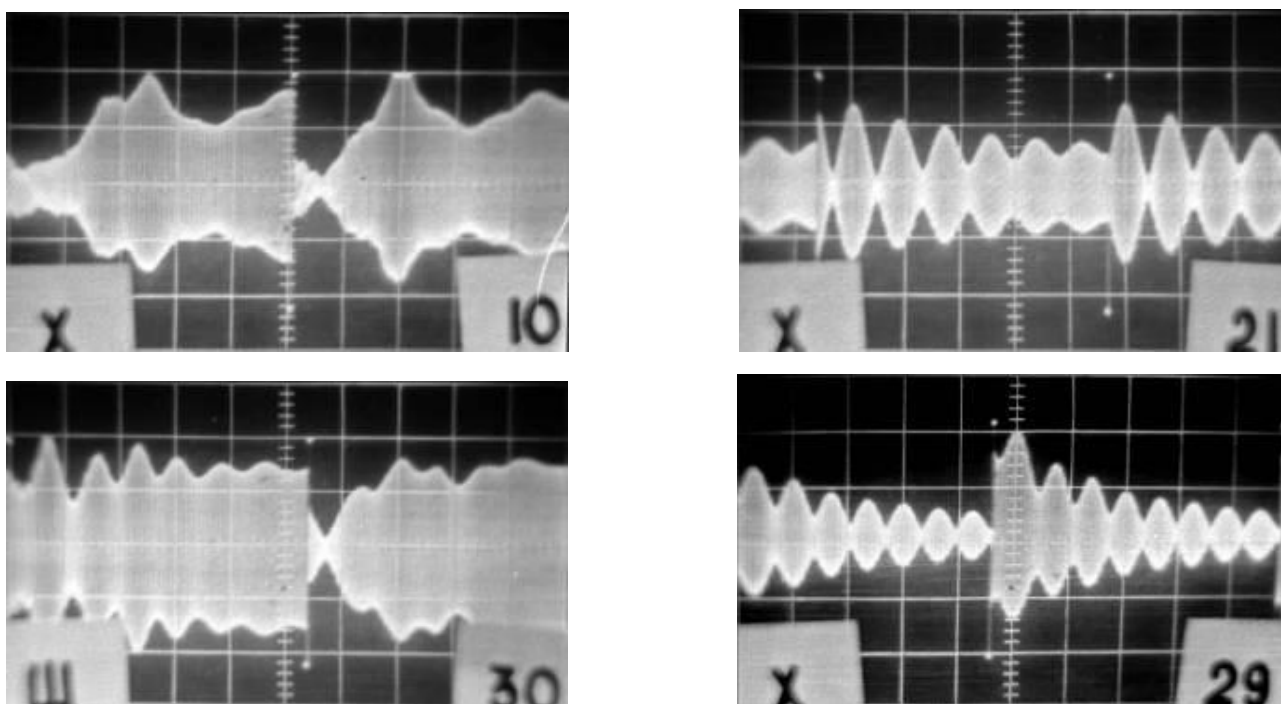


Рис. 1-4. Влияния фоновых вибраций на выходной сигнал комплекта тензометрической диагностики подсистемы СМИК.

Подсистема СМИК, предназначенная для осуществления в режиме реального времени контроля изменения состояния оснований, строительных конструкций зданий и сооружений, с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций, должна точно также в режиме реального времени производить учет изменения влияющих факторов. В противном случае исходные данные, на основе кото-

рых формируется вывод о безопасности объекта защиты, утратят свою достоверность. Такая коррекция исходных данных с целью устранения их искажения под действием рассмотренных влияющих факторов должна быть обеспечена средствами программно-методического обеспечения подсистемы.

Библиографический список

1. **ГОСТ 22.1.12-2005** Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования. - введ. 01.01.2005. - Москва: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 2005. - 14 с.
2. **ГОСТ 20911-89**. Техническая диагностика. Термины и определения. - Взамен ГОСТ 20911-75; введ. 01.01.91. - Москва: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 2009. - 11 с.
3. **ГОСТ 31937 - 2011** Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. - Взамен ГОСТ Р 53778-2010; введ. 01.01.2014. - Москва: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 2014. - 55 с.
4. **Бидерман, В.Л.** Теория механических колебаний / В.Л. Бидерман. - Москва: Высшая школа, 1980. - 408 с.
5. **Биргер, И.А.** Техническая диагностика / И.А. Биргер. - Москва: Машиностроение, 1978. - 240 с.
6. **Болотин, В.В.** Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В.В. Болотин. - Москва: Машиностроение, 1984. - 312 с.
7. **Вибрации в технике:** Справочник. В 6-ти томах / Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). - Том 5. Измерения и испытания / Под ред. М. Д. Генкина. - Москва: Машиностроение, 1981. - 496 с.
8. **Магнус, К.** Колебания: Введение в исследование колебательных систем / К. Магнус. - М.: Мир, 1982. - 304 с.
9. **СП 20.13330-2010** Нагрузки и воздействия состояния. - Взамен СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия; введ. 01.01.2011. - Москва: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 2014. - 96 с.
10. **СП 79.13330-2012** Мосты и трубы. Правила обследования и испытаний. - Взамен СНиП 3.06.07-86; введ. 01.01.2013. - Москва: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 2014. - 36 с.
11. **Гриб, Н.Н., Пазынич, А.Ю.** Анализ сейсмических эффектов от массовых взрывов разреза «Нерюнгинский» / Н.Н. Гриб, А.Ю.Пазынич // Современные проблемы науки и образования. - 2010. - № 1 - С. 71-76.
12. **Цейтлин, Я.И.** Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов / Я.И. Цейтлин, Н.И. Смолий. - М.: Недра, 1981. - 192 с.
13. **Черных, Е.Н.** Текущий контроль состояния сооружений и технологического оборудования при проведении взрывных работ в условиях действующего производства / Е.Н. Черных, В.А. Павленов, В.В. Чечельницкий, Г.Н. Масленникова. // Город: прошлое, настоящее, будущее. - Иркутск, 2000. - С. 102-105.

References

1. **GOST 22.1.12-2005** Bezopasnost v chrezvychaynykh situatsiyah. Strukturirovannaya sistema monitoringa i upravleniya inzhenernyimi sistemami zdaniy i sooruzheniy. Obschie trebovaniya. - vved. 01.01.2005. - Moskva: Izd-vo FGUP «STANDARTINFORM». 2005. - 14 s.
2. **GOST 20911-89**. Tehnicheskaya diagnostika. Terminy i opredeleniya. - Vzamen GOST 20911-75; vved. 01.01.91. - Moskva: Izd-vo FGUP «STANDARTINFORM». 2009. - 11 s.
3. **GOST 31937 - 2011** Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tehničeskogo sostoyaniya. - Vzamen GOST R 53778-2010; vved. 01.01.2014. - Moskva: Izd-vo FGUP «STANDARTINFORM». 2014. - 55 s.
4. **Biderman V.L.** Teoriya mehanicheskikh kolebaniy / V.L. Biderman. - Moskva: Vysshaya shkola, 1980. - 408 s.
5. **Birger I.A.** Tehnicheskaya diagnostika / I.A. Birger. - Moskva: Mashinostroenie, 1978. - 240 s.
6. **Bolotin V.V.** Prognozirovaniye resursa mashin i konstruktsey / V.V. Bolotin. - Moskva: Mashinostroenie, 1984. - 312 s.
7. **Vibratsii v tehnikе:** Spravochnik. V 6-ti tomah / Red. sovet: V. N. Chelomey (pred.). - Tom 5. Izmereniya i ispytaniya / Pod red. M. D. Genkina. - Moskva: Mashinostroenie, 1981. - 496 s.
8. **Magnus K.** Kolebaniya: Vvedeniye v issledovaniye kolebatelnykh sistem / K. Magnus. - M.: Mir, 1982. - 304 s.
9. **SP 20.13330-2010** Nagruzki i vozdeystviya sostoyaniya. - Vzamen SNiP 2.01.07-85 Nagruzki i vozdeystviya; vved. 01.01.2011. - Moskva: Izd-vo FGUP «STANDARTINFORM». 2014. - 96 s.
10. **SP 79.13330-2012** Mosty i trubyy. Pravila obsledovaniya i ispytaniy. - Vzamen SNiP 3.06.07-86; vved. 01.01.2013. - Moskva: Izd-vo FGUP «STANDARTINFORM». 2014. - 36 s.
11. **Grib N.N.** Analiz seysmicheskikh effektov ot massovykh vzryivov v razreza «Neryunginskiy» / N.N. Grib, A.Yu.Pazyinich // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. - 2010. - № 1 - S. 71-76.
12. **Tseytlin Ya.I.** Seysmicheskie i udarnyye vozdushnyye volny promyshlennykh vzryivov / Ya.I. Tseytlin, N.I. Smoliy. - M.: Nedra, 1981. - 192 s.
13. **Chernyyh E.N.** Tekuschiy kontrol so-stoyaniya sooruzheniy i tehnologicheskogo oborudovaniya pri provedenii vzryivnykh rabot v usloviyah deystvuyushchego proizvodstva / E.N. Chernyyh, V.A. Pavlenov, V.V. Chechelnickey, G.N. Maslenikova. // Gorod: proshloe, nastoyashee, budushee. - Irkutsk, 2000. - S. 102-105.

ACCOUNTING INFLUENCING FACTORS IN MONITORING OF GROUND FOUNDATIONS, BUILDING CONSTRUCTIONS OF BUILDINGS AND STRUCTURES FOR THE PURPOSE OF PREVENTION OF EMERGENCIES

Nikolai N. Goussev, D. Sc. in Engineering, Prof.,
Russia, Saint-Petersburg
e-mail: goussev_nn@mail.ru.

Vladimir I. Yakovlev, D. Sc. in Engineering, Prof.
Russia, Saint-Petersburg
lubov_y@mail.ru.

Aleksandr V. Bazhukhin,
Russia, Saint-Petersburg
bazhukhin@gmail.com.

Influencing factors are considered in state changes monitoring of building structures and ground foundations of buildings and structures. Grounded the necessity of taking into account the influencing factors in calibration object of vibration diagnostics.

Keywords: *safety of buildings and structures, functional and test vibration diagnostics, monitoring state changes, influencing factors, calibration, diagnostic features.*
