

## К вопросу мониторинга монолитного железобетонного фундамента машин с динамическими нагрузками при увеличении уровня вибрации оборудования

*А.А. Чебровский, А.А. Иодчик*

*Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск*

**Аннотация:** Представленная программа по эксплуатации/мониторингу фундамента мельницы включает наблюдение за развитием ширины раскрытия трещин посредством установки маяков, наблюдение за вибрацией фундамента посредством датчиков, установленных в конструкции оборудования и геодезический мониторинг за осадкой фундамента посредством электронного тахеометра, нивелира. Мониторинг выполнялся в связи с увеличением уровня вибрации оборудования, установленного на фундамент и обнаружением дефектов фундамента в виде трещин и сколов бетона.

**Ключевые слова:** мониторинг, несущая способность, фундамент, динамическая нагрузка, бетон, арматура.

Целью мониторинга является контроль воздействия вибрации на фундамент машин с динамическими нагрузками, для обеспечения функциональной пригодности фундамента и исключения отрицательного воздействия технологического процесса на безопасность людей на объекте в течении всего периода эксплуатации. Мониторинг технического состояния конструкций проводился по ГОСТ 31937-2024 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» с применением отечественных методик, изложенных в [1-3] и зарубежных [4, 5].

### **Задачи мониторинга**

- систематическое наблюдение за деформациями фундамента в процессе эксплуатации машин с динамическими нагрузками;
- систематическое наблюдение за развитием ширины раскрытия трещин фундамента по установленным маякам;
- измерение вибрации фундамента посредством датчиков, установленных в конструкции оборудования и сравнение полученных результатов с заданными предельными значениями (критериями оценки);

- оформление отчета с результатами мониторинга и заключения о возможности дальнейшей безопасной эксплуатации фундамента, прогнозом негативных последствий (при необходимости) и предложения по мониторингу фундамента в дальнейшем.

### **Обмерные работы**

Для измерений геометрических характеристик оборудования, установленного на фундамент, используется высокоточный лазерный трекер и комплект измерительной оснастки. Лазерные трекеры позволяют достигнуть точности порядка  $0.010 \div 0.015$  мм в измерительном пространстве цеха  $\varnothing 80 \div 160$  м. Эти приборы предназначены для высокоточного обмера крупногабаритных объектов сложной формы [6, 7]. В лазерном трекере реализован полярный метод определения координат т.е. измеряют горизонтальный и вертикальный углы и наклонное расстояние на отражатель установленный на объекте и из этих данных вычисляют координаты. В настоящее время наиболее совершенным являются приборы с предельной погрешностью ( $3\sigma$ ) абсолютного дальномера 0.01 мм. Накопление ошибки при определении разности расстояний интерферометром составляет  $0.0004 \div 0.0005$  мм на метр. Точность угловых датчиков вертикального и горизонтального круга  $m\beta = 0.5''$ .

Лазерные трекеры позволяют определять: уклон оси вращения оборудования относительно горизонтальной плоскости; уклон оси привода относительно горизонтальной плоскости; смещение по высоте оси двигателя, относительно оси вала-шестерни; разворот в плане оси двигателя относительно оси вала-шестерни; смещение по высоте оси вала-шестерни, относительно оси двигателя; разворот в плане оси вала-шестерни, относительно оси вала двигателя; разворот в плане элементов привода, относительно оси мельницы; уклон фундаментных плит опор подшипников мельницы; уклон фундаментной плиты вал-шестерни; уклон фундаментных

---

плит опор подшипников двигателя; уклон фундаментных балок статора; геометрические характеристики венцовой шестерни.

Результаты инструментальных, визуальных наблюдений необходимо фиксировать в журналах. Периодичность визуального осмотра и инструментальных наблюдений назначается на основании результатов предварительного обследования и технических особенностей эксплуатации оборудования. При возникновении нештатных ситуаций, необходимо передать информацию заказчику для принятия решений об изменении периодичности наблюдений и проработки проектных и организационных решений.

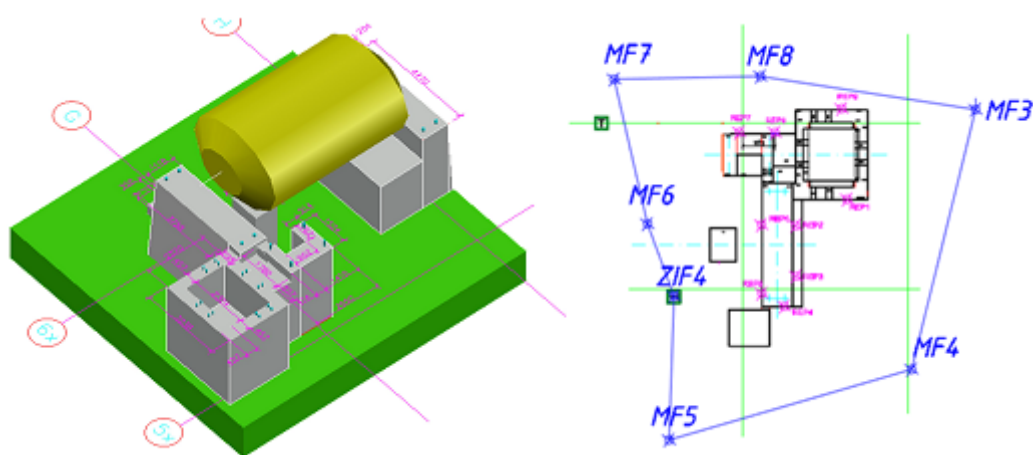


Рис. 1. Фундамент мельницы и схема расположения геодезических марок

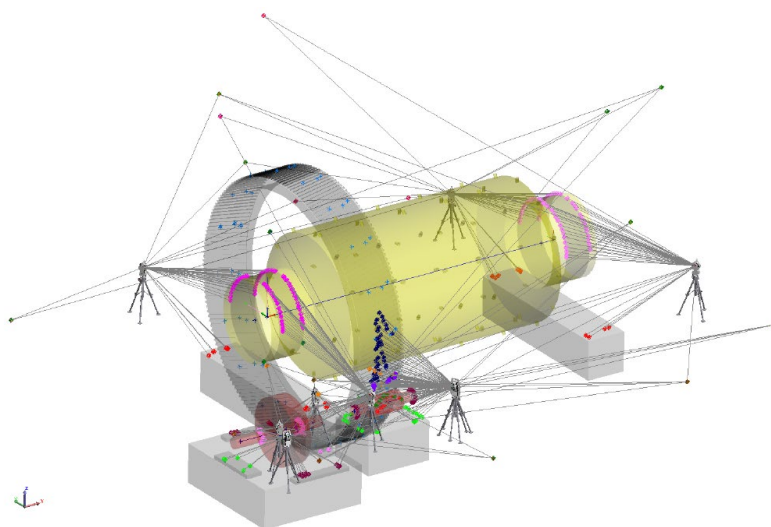


Рис. 2. Измерение поверхности мельницы

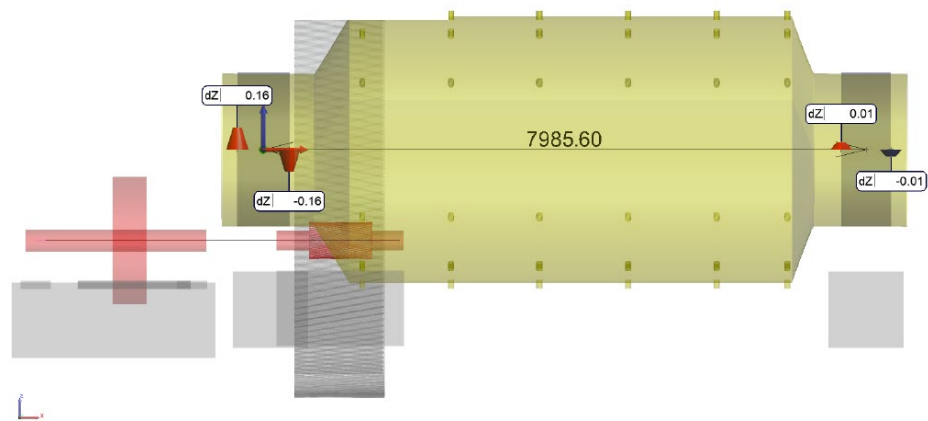


Рис. 3. Определение смещения оси мельницы

### Дефекты фундамента

В процессе обследования фундамента обнаружены дефекты (см. рис. 2), снижающие несущую способность конструкций [8, 9]: трещина №1 - вертикальная трещина в углу подливки фундамента и ниже подливки Д/Г/Ш (4 см/не измерить/0,2 мм); трещина №2 - трещина вдоль границы подливки Д/Г/Ш (86 см/10 см/0,4 мм); трещина №3 - трещина в подливке Д/Г/Ш (25 см/10 см/0,8 мм); трещина №4 - наклонная сквозная трещина в фундаменте ниже подливки Д/Г/Ш (10 см/сквозная/0,5 мм); трещина №5 - трещина в подливке Д/Г/Ш (25 см/12 см /0,8 мм); трещина №6 - трещина вдоль границы подливки Д/Г/Ш (150 см/15 см/0,5 мм); трещина №7 - трещина сквозная в подливке в углах углубления Д/Г/Ш (25 см/ сквозная/0,2 мм); трещина №8 - трещина вдоль границы подливки Д/Г/Ш (200 см/10 см/1,5 мм); трещина №8.1 - скол бетона подливки по торцу опорной стальной плиты; трещина №9 - трещина между отверстиями под крепление опалубки Д/Г/Ш (30 см/3 см/0,2 мм); трещина №10 - трещина Д/Г/Ш (30 см/2 см/0,2 мм); трещина №11 - Трещина вдоль границы подливки Д/Г/Ш (50 см/10 см/0,4 мм); трещина №12 - Трещина в углу фундамента Д/Г/Ш (50 см/4 см/0,3 мм); трещина №13 - Горизонтальная трещина в фундаменте Д/Г/Ш (50 см/4 см/0,3 мм); трещина №14 - Вертикальная трещина в фундаменте ниже подливки Д/Г/Ш (60 см/не

измерить /0,3 мм); трещина №15 - Сквозная наклонная трещина в фундаменте ниже подливки Д/Г/Ш (80 см/9 см /1,1 мм).



Рис. 4. Фото дефектов обследуемого фундамента

#### **Установка маяков**

Для наблюдения за развитием ширины раскрытия трещин №12 и №15 установлены маяки №1 и №2 по типу ЗИ-2. Осмотр маяков производится раз в неделю после их установки, с занесением данных в журнал наблюдений. В журнале наблюдений за маяками фиксируется номер и дата установки, место и схема его расположения, первоначальная ширина трещины, изменение со временем ширины и длины трещины.

При увеличении ширины трещины более чем на 0,3 мм, длины более чем на 50 мм, от зафиксированной ранее сообщить в проектную организацию, изменить режим работы оборудования для снижения нагрузок на фундаменты.



Рис.5. Схема маяка ЗИ-2

Периодичность проведения осмотров – 1 раз в 30 календарных дней.

В случае появления новых трещин, имеющих заметную динамику, необходимо устанавливать на них маяки и вести наблюдение.

Оборудование Маяк ЗИ-2 предназначен для наблюдения за трещинами, обеспечивает максимальную точность измерений и выполняет наблюдения с высокой частотой. Визуальный мониторинг возможен по вертикальной и горизонтальной осям.

| Адрес объекта | Конструкция маяка | Место установки | Номер | Дата установки | Ширина раскрытия трещины | Длина трещины | Дата проверки | Ширина раскрытия трещины | Длина трещины |
|---------------|-------------------|-----------------|-------|----------------|--------------------------|---------------|---------------|--------------------------|---------------|
| 1             | 2                 | 3               | 4     | 5              | 6                        | 7             | 8             | 9                        | 10            |
|               |                   |                 |       |                |                          |               |               |                          |               |
|               |                   |                 |       |                |                          |               |               |                          |               |

Рис. 6. Форма журнала наблюдений за маяками

### Наблюдение за вибрацией

Проводить наблюдения за вибрацией фундамента посредством датчиков, установленных в конструкции оборудования, системы вибрационного диагностирования, с помощью программного обеспечения автоматизированного рабочего места диагноста, установленного в



помещении объекта. Результаты измерений вибрации ведутся в электронном виде посредством программного накопления на служебном сервере объекта. При выходе вибрационных параметров из зеленой зоны более чем на 50% в течении 1 часа сообщать заказчику.



Рис. 7. Общий вид экрана вибродиагностики

### **Геодезический мониторинг**

Выполнять геодезический мониторинг за осадкой фундамента раз в месяц (или в момент плановых остановок оборудования) с занесением данных в журнал наблюдений. Мониторинг вести в абсолютных отметках по уже установленным ранее металлическим пластинам в теле фундамента.

В журнале наблюдений геодезического мониторинга фиксируются: дата мониторинга, схема расположения нивелировочных марок, данные по съемке по каждой марке. Для геодезических инструментальных наблюдений могут быть использованы электронные тахеометры, нивелиры различных типов, отвечающие требованиям точности тригонометрического и геометрического нивелирования по программе III класса, (допустимая погрешность измерений 5мм). Отчетность по проведению каждого цикла нивелировочных наблюдений оформляется в электронном виде. Информация по геодезической съемке направлять в проектную организацию.

| Номер<br>ДМ | Дата<br>наблюдения | Дата<br>наблюдения | 0-1 | Дата<br>наблюдения | 1-2 | 0-2 |
|-------------|--------------------|--------------------|-----|--------------------|-----|-----|
|             | 0-ое набл.         | 1-ое набл.         |     | 2-ое набл.         |     |     |
| 1           |                    |                    |     |                    |     |     |
| 2           |                    |                    |     |                    |     |     |
| 3           |                    |                    |     |                    |     |     |

Рис. 8. Журнал мониторинга за осадкой фундамента

### Выводы и рекомендации

По завершению мониторинга объекта установлено, что радиальное биение венцовой шестерни находится в пределах допустимого значения, торцевое (осевое) биение венцовой шестерни находится в пределах допустимого значения. Для дальнейшей безопасной эксплуатации объекта требуется выполнить регулировку оси мельницы относительно горизонтальной плоскости, выполнить регулировку оси вала двигателя относительно горизонтальной плоскости, выполнить центровку электродвигателя относительно вал-шестерни, а также выполнить технические рекомендации по устранению дефектов железобетонных изделий и конструкций [10].

### Литература

1. Савинов О.А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет. - Ленинград: Стройиздат, 1979. - 200с.
2. Прокопов А. Ю., Ткачева К. Э. Исследование напряженно-деформированного состояния фундамента вертикального резервуара с учетом динамики эксплуатационных нагрузок // Инженерный вестник Дона. – 2015. – №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3200](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3200).
3. Жадановский Б. В., Пахомова Л. А. Организационно-технологические решения устранения трещин в железобетонных



фундаментных плитах // Инженерный вестник Дона. – 2024. – №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2024/8994](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2024/8994).

4. Molla M. K. A. Analysis of flexible rectangular raft foundations under dynamic loading // Computers & Structures. Volume 52, Issue 5, 1994, pp. 1079-1091.

5. Ujjawal K. N. Laboratory and numerical investigation of machine foundations reinforced with geogrids and geocells // Geotextiles and Geomembranes. Volume 46, Issue 6, 2018, pp. 882-896.

6. Галиев И. Х. Мониторинг реконструируемых зданий с использованием 3D-сканеров // Строительное производство. – 2021. – № 3. – С. 19-26.

7. Шоломицкий А. А. Исследование точности измерения длин лазерными дальномерами электронных тахеометров // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 5. – С. 59-68.

8. Гроздов В. Т. Дефекты строительных конструкций и их последствия. – СПб., 2007. – 137с.

9. Добромыслов А. Н. Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам. – М.: Издательство АСВ, 2004. – 72 с.

10. Физдель И.А. Дефекты бетонных, каменных и других строительных конструкций и методы их устранения. - Москва : Госстройиздат, 1961. - 225с.

### References

1. Savinov O.A. Sovremennye konstrukcii fundamentov pod mashiny i ih raschet [Modern designs of foundations for machines and their calculation]. Leningrad : Strojizdat, 1979. 200 p.

2. Prokopov A. YU., Tkacheva K. E. Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3200](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3200).

3. ZHadanovskij B. V., Pahomova L. A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2024. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2024/8994](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2024/8994).



4. Molla, M.K.A. Computers & Structures. Volume 52, Issue 5, 1994, pp. 1079-1091.
5. Ujjawal K. N. Geotextiles and Geomembranes. Volume 46, Issue 6, 2018, pp. 882-896.
6. Galiev I. H. Stroitel'noe proizvodstvo. № 3, 2021, pp. 19-26.
7. SHolomickij A. A. Vestnik SGUGiT. Volume 29, № 5, 2024, pp. 59-68.
8. Grozdov V. T. Defekty stroitel'nyh konstrukcij i ih posledstviya [Defects of building structures and their consequences]. SPb., 2007. 137 p.
9. Dobromyslov A. N. Ocenka nadezhnosti zdaniy i sooruzhenij po vneshnim priznakam [Assessment of the reliability of buildings and structures by external features]. M.: Izdatel'stvo ASV, 2004. 72 p.
10. Fizdel I.A. Defekty betonnyh, kamennyh i drugih stroitel'nyh konstrukcij i metody ih ustraneniya [Defects of concrete, stone and other building structures and methods of their elimination]. M.: Gosstrojizdat, 1961. 225 p.

**Дата поступления: 4.01.2025**

**Дата публикации: 25.02.2025**