

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ НАГРУЗОК НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Розглядаються і обґрунтовуються питання, пов'язані з необхідністю дослідження впливу вібраційних навантажень на елементи будівельних конструкцій. Зважаючи на складність проблеми, пропонується започаткувати системні експериментальні дослідження та розроблення відповідних рекомендацій.

Ключові слова: вібраційні навантаження, напружено-деформований стан, коливання, залізобетонний елемент.

Рассматриваются и обосновываются вопросы, связанные с необходимостью исследования влияния вибрационных нагрузок на элементы строительных конструкций. Учитывая сложность проблемы, предлагается начать системные экспериментальные исследования и разработку соответственных рекомендаций.

Ключевые слова: вибрационные нагрузки, напряженно-деформированное состояние, колебания, железобетонный элемент.

The questions related to the necessity of the vibroloads influence on the building construction units are examined and grounded. Because of problem complexity, it is suggested to offer system experimental researches and working out of the appropriate recommendations.

Key words: vibroloads, strain-stress condition, oscillations, reinforced-concrete element.

Постановка проблеми. Динамике строительных конструкций посвящена обширная литература. Подробно рассмотрены колебания с одной степенью свободы, с двумя степенями свободы, с бесконечным числом степеней свободы. Изучалось влияние перемещающихся нагрузок, действие удара на сооружение, влияние кратковременных нагрузок, сейсмических нагрузок, колебания упруго-пластических систем [1]. Что же касается влияния вибрации на элементы зданий и сооружений, то этот вопрос относился, главным образом, к способам снижения воздействия вибраций без изучения процессов, происходящих в материалах строительных конструкций.

Анализ последних исследований. Вибрации обладают двумя противоречивыми свойствами. С одной стороны – это неприятное явление,

с которым необходимо бороться, уменьшать его действие на конструкции машин, на строительные конструкции и, главным образом, на людей, испытывающих вибрационные воздействия. С другой стороны, вибрации все шире используются для выполнения различных технологических процессов, таких как уплотнение бетонных смесей при изготовлении бетонных и железобетонных изделий, погружение свай, труб и шпунта, уплотнение оснований в дорожном строительстве, обработка металлических деталей при снятии заусенцев, скругление острых кромок, шлифовании и полировании и многих других.

Вибрационные технологические машины устанавливаются как на отдельно стоящие фундаменты, так и на элементы строительных конструкций зданий и сооружений. И в том, и в другом случаях вибрации передаются на строительные конструкции, и последние испытывают постоянное воздействие вибрационных нагрузок вместе со статическими нагрузками, на которые эти конструкции были рассчитаны.

Для большинства машин динамические нагрузки изменяются по периодическому закону. Амплитудное значение вынуждающей силы, развиваемой машиной в рабочем установившемся режиме, определяется зависимостью

$$\Phi = me\omega^2, \quad (1)$$

где m – масса вращающихся частей машины; e – приведенный эксцентриситет вращающихся частей; ω – угловая скорость вращения вала.

Для машин с номинально уравновешенными вращающимися частями величина m_0 представляет собой полную массу вращающихся частей, которая для вентиляторов и других тугодутьевых машин составляет 0,25...0,50 от общей массы машины, для электромашин – 0,30...0,40, для центробежных насосов – 0,25...0,50, для турбин – 0,25, для компрессоров 2ВГ – 0,30...0,55. Обычно эксплуатационные значения динамических нагрузок устанавливаются заводами-изготовителями машин и технологами, эксплуатирующими их. Средние значения эксцентриситетов, приближенно определяющих значения нормативных инерционных сил, развиваемых машинами в рабочем режиме, составляют: для вентиляторов и центробежных насосов 1,0 мм, для компрессоров 2ВГ – 2,2 мм, для электромашин и турбин их значение определяется по формулам [2]:

$$e = \frac{60}{20 + n^2} \text{ – для электромашин при частоте от 10 до 50 об/с;}$$

$$e = \frac{60}{250 + n^2} \text{ – для турбин при частоте от 25 до 50 об/с.}$$

Как видим, динамические нагрузки от работающих машин закладываются в нормативные документы [3] и их наличие не вызывает сомнений. Поэтому расчет несущих конструкций зданий и сооружений

производят с учетом динамических нагрузок. При этом определяются амплитуды вертикальных и горизонтальных колебаний элементов конструкций. Обычно собственная частота колебаний элементов зданий и сооружений составляет 5...7 Гц, а частота вращения вала машины, установленной на таком элементе, – 25...50 Гц. Следовательно, в режимах пуска и остановки машины происходит неуправляемый переход через промежуточные резонансы с резким увеличением амплитуды колебаний конструкции (в 10 раз и более).

В известной литературе влияние вибраций на работу конструкций зданий и сооружений и на элементы конструкций самих машин сводится к определению собственных частот, аналитическому определению амплитуд колебаний и рассмотрению различных приемов гашения колебаний. Учет влияния динамических (в том числе вибрационных) нагрузок осуществляется введением в статический расчет коэффициента динамичности.

Цель статьи. До настоящего времени отсутствуют исследования напряженно-деформированного состояния элементов строительных конструкций вообще и железобетонных элементов в частности от действия вибрационных нагрузок. Целью статьи является рассмотрение влияния вибраций на элементы строительных конструкций.

Изложение основного материала. В общем виде величину напряжений для упругой системы с внутренним трением при циклическом деформировании и наличии петли гистерезиса можно записать в виде [4]

$$\sigma = E \left[\varepsilon \pm \frac{3}{8} \delta \left(\varepsilon_a \mp 2\varepsilon - \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon_a} \right) \right], \quad (2)$$

где E – модуль упругости материала; ε – относительная деформация; ε_a – амплитудное значение относительной деформации; δ – логарифмический декремент колебаний.

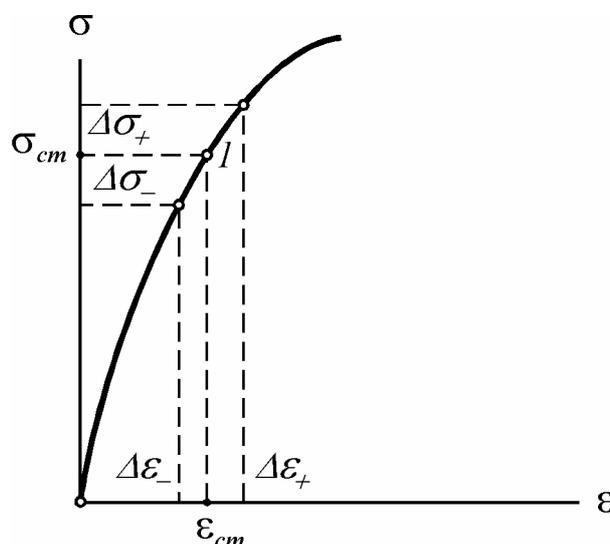


Рисунок 1 – Диаграмма $\sigma - \varepsilon$ бетона сжатой зоны изгибаемого элемента

Рассмотрим диаграмму $\sigma - \varepsilon$ бетона сжатой зоны изгибаемого элемента (рис. 1), на которой точкой 1 обозначено напряженно-деформированное состояние бетона от статической расчетной нагрузки.

При действии вибрационной нагрузки за каждый цикл колебаний величина напряжений от статической нагрузки σ_{cm} увеличивается на величину $\Delta\sigma_+$ и уменьшается на величину $\Delta\sigma_-$. При этом относительная деформация от статической нагрузки ε_{cm} увеличивается на величину $\Delta\varepsilon_+$ и уменьшается на величину $\Delta\varepsilon_-$.

Если частота изменения вибрационной нагрузки $n = 25 Гц$, то за 1 минуту таких циклов изменения σ и ε будет 1500, за один час – 90000, а за рабочую смену в 6 часов – 540000 циклов. Учитывая, что бетон с достаточной степенью точности можно представлять классической моделью Прандтля (рис. 2), представляющей собой последовательное соединение упругой модели Гука и жесткопластической модели Сен-Венана, за каждый цикл происходит рассеяние энергии за счет внутреннего трения и петли гистерезиса будут иметь разомкнутый вид (рис. 3), что указывает на увеличение остаточной деформации.

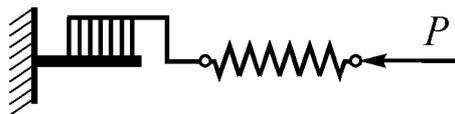


Рисунок 2 – Реологическая модель Прандтля

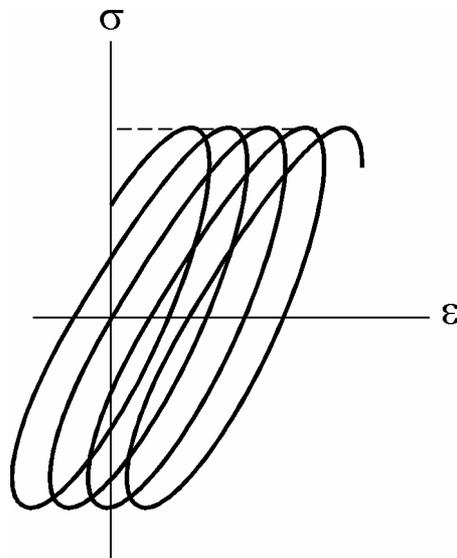


Рисунок 3 – Разомкнутые петли гистерезиса при вибрации

Последнее приводит к снижению модуля упругости E_0 бетона, релаксации напряжений, увеличению ползучести бетона, нарушению (или ослаблению) сцепления арматуры с бетоном. Напряженно-деформированное состояние железобетонного элемента претерпевает изменения.

Безусловно, даже при очень небольших значениях $\Delta\sigma$, составляющих единицы процентов от $\sigma_{ст}$, и незначительных изменениях деформаций, измеряемых долями микрометров за каждый цикл колебаний, при числе колебаний, равном нескольким миллионам, остаточные явления будут иметь конечные значения, пренебрегать которыми нельзя.

Особо необходимо сказать о переходе колебательной системы через промежуточные резонансы. При этом амплитуда колебаний возрастает в 10 и более раз по сравнению с амплитудой в установившемся режиме. Такие скачки напряжений и деформаций имеют место при пуске и остановке вибрационной установки. Это в свою очередь приводит к скачкам в напряженно-деформированном состоянии рассматриваемого элемента.

Вибрационные нагрузки, действуя на железобетонные элементы, вызывают усталость материалов и приводят к снижению прочности и жесткости рассматриваемых элементов.

Вывод. Сказанное свидетельствует о том, что для учета влияния вибраций на элементы строительных конструкций необходимы серьезные экспериментальные исследования. Нам представляется, что на повестку дня выносятся важная, актуальная и непростая проблема, связанная с исследованием влияния вибраций на элементы строительных конструкций и выработкой соответствующих рекомендаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов Н.Н. Расчет конструкций на динамические и специальные нагрузки: учебн. пособие / Н.Н. Попов, Б.С. Расторгуев, А.В. Забегаев. – М.: Высш. шк., 1992. – 312 с.
2. Ивович В.А. Защита от вибрации в машиностроении / В.А. Ивович, В.Я. Онищенко. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.
3. Инструкция по расчету несущих конструкций промышленных зданий и сооружений на динамические нагрузки. – М.: Стройиздат, 1970. – 288 с.
4. Писаренко Г.С. Обобщенная нелинейная модель учета рассеяния энергии при колебаниях / Г.С. Писаренко. – Киев: Наукова думка, 1985. – 240 с.