

УДК 621.833

## Динамический расчет рамных фундаментов и сооружений

Лодыгина Н.Д.

Рамные конструкции фундаментов под машины получают все более широкое распространение, так как они отличаются экономичностью, обеспечивают наиболее удобные условия для размещения и эксплуатации машин и могут легко выполняться в сборном железобетоне. Конструктивные формы рамных фундаментов, применяемых главным образом для установки машин с равномерным вращением масс, разнообразны. Для большинства рамных фундаментов характерно наличие верхней части в виде пространственной многостоечной жесткой рамы, стойки которой заделаны в мощную опорную плиту или ростверк. Рассмотрен общий метод определения частот и форм собственных колебаний плоских статически неопределимых рам методом сил. При этом учитывались только изгибающие моменты в раме. При динамическом расчете рам по методу сил основная система для заданной системы образуется путем отбрасывания связей, так же как при статическом расчете, и заменой их реакциями опор.

*Ключевые слова:* рамные конструкции, метод сил, динамические нагрузки, степень свободы, колебания.

## Dynamic analysis of frame foundations and construction

Lodigina N.D.

Frame construction of foundations for the machines are becoming more widespread, as they are economical, provide the most convenient conditions for the deployment and operation of machines and can be easily implemented in precast concrete. There are diverse structural frame form the foundations used mainly for the installation of machines with a uniform rotation of the masses. For most frame foundations are characterized by the upper part of a multishelf spatial rigid frame, which stands embedded in a powerful base plate or raft foundation. A general method for determining the frequencies and modes of oscillations of plane statically indeterminate frames by force. They reflect only the bending moments in the frame. In the dynamic analysis of frames by the method of force main system for a given system is formed by dropping connections, as well as in static analysis, and replace them with the support reaction.

*Keywords:* frame construction, method of forces, dynamic forces, the degree of freedom, vibrations.

### Введение

Неуравновешенные силы инерции возникают при работе большинства современных машин, устанавливаемых в промышленных зданиях на отдельных фундаментах. В расчетах фундаментов под машины эти силы, т. е. динамические нагрузки, учитываются в тех случаях, когда они могут вызвать опасные для здоровья людей, недопустимые по условиям прочности и устойчивости строительных конструкций или вредные для работы промышленного оборудования вибрации фундаментов и зданий. Сведения о динамических нагрузках от машин, как правило, должны включаться в

состав здания на проектирование фундаментов.

Фундаменты под машины с динамическими нагрузками делятся на два основных типа – массивные и рамные [1]. Как массивные, так и рамные фундаменты могут быть отдельными для каждой машины или групповыми, на которых устанавливается по несколько машин.

Конструктивные формы рамных фундаментов, применяемых главным образом для установки машин с равномерным вращением масс, разнообразны. Для большинства рамных фундаментов характерно наличие верхней части в

виде пространственной многостоечной жесткой рамы, стойки которой заделаны в мощную опорную плиту или ростверк. Встречаются случаи, когда фундаменты проектируют в виде ряда поперечных П-образных рам, опирающихся на отдельные плиты.

До 1950 года фундаменты под машины с динамическими нагрузками проектировались только из монолитного железобетона. В 50-х годах начали использовать для устройства таких фундаментов сборный железобетон, и в настоящее время существуют и успешно эксплуатируются сборные и сборно-монолитные фундаменты.

Рамные конструкции фундаментов под машины получают все более и более широкое распространение, так как они отличаются экономичностью, обеспечивают наиболее удобные условия для размещения и эксплуатации машин и могут легко выполняться в сборном железобетоне. Если до середины 50-х годов такие фундаменты устраивались почти исключительно под турбоагрегаты и крупные электрические машины, то в настоящее время на них устанавливаются тяжелые дробилки, трубчатые мельницы, вращающиеся электропечи и другие неуравновешенные машины. Эти машины различны по виду и интенсивности динамических нагрузок, передаваемых на фундаменты, что обуславливает существенные различия в подходе к динамическому расчету их фундаментов.

Расчет элементов конструкции рамных фундаментов производится на прочность при действии нагрузок:

- 1) постоянных, в число которых входят вес машины (включая вес движущихся частей), вспомогательного оборудования и собственный вес частей фундамента;
- 2) временных, включающих: а) нагрузки, заменяющие динамическое действие движущихся частей машины; б) особые нагрузки, характерные для машин данного вида.

Кроме того, прочность отдельных элементов верхнего строения (главным образом консольных) проверяется при действии монтажных нагрузок.

Цель работы – рассмотреть вопросы динамического расчета рамных фундаментов и сооружений.

### **Динамический расчет сооружений**

Для характеристики поведения сооружения при динамическом действии нагрузки большое значение имеет понятие числа степеней свободы, т. е. количества независимых геометрических параметров, определяющих положения всех масс сооружения при колебаниях. По числу степеней свободы расчетные схемы сооружений при динамическом расчете подразделяются на схемы с конечным и бесконечным числом степеней свободы.

Сооружения с дискретным (точечным) распределением масс рассматриваются как системы с конечным числом степеней свободы. Такие расчетные схемы применяются для динамического расчета различных сооружений и конструкций: каркасных зданий, высоких сооружений башенного или мачтового типа, открытых этажерок и технологического оборудования колонного типа, ферм покрытий промышленных сооружений. Сооружения с непрерывным распределением масс рассматриваются как системы с бесконечным числом степеней свободы.

Реальные конструкции зданий и сооружений (балки, плиты, фермы, рамы), как правило, загружены распределенными и сосредоточенными нагрузками [2]. Такие конструкции представляют собой системы с бесконечным числом степеней свободы. Однако в ряде случаев при расчете на динамические воздействия за расчетную схему конструкции можно принять систему с конечным числом степеней свободы. Так, конструкции, загруженные тяжелым сосредоточенным грузом, по сравнению с которым собственный вес конструкции

мал, могут рассматриваться как системы с одной степенью свободы.

За расчетную схему конструкции, нагруженной несколькими тяжелыми сосредоточенными грузами, может быть принята система с соответствующим числом степеней свободы. Примерами таких конструкций служат легкие консольные балки с установленными на них мощными вентиляторами или другими установками, балки перекрытий и покрытий, рамы с сосредоточенными грузами, превышающими во много раз их собственный вес.

Рассмотрен общий метод определения частот и форм собственных колебаний плоских статически неопределимых рам методом сил. При этом учитывались только переменные изгибающие моменты в раме. При динамическом расчете рам по методу сил основная система для заданной системы образуется путем отбрасывания связей, так же как при статическом расчете, и заменой их неизвестными силами (реакциями опор). При установившихся колебаниях с частотой  $\omega$  все внутренние силы и перемещения будут изменяться по гармоническому закону [1] с частотой  $\omega$ . Следовательно, реакции в отброшенных связях будут

$$X_l(t) = X_l \sin \omega t, \dots, X_n(t) = X_n \sin \omega t, \dots,$$

где  $X_l, \dots, X_n$  – амплитуда усилия неизвестной реакции связи.

Система канонических уравнений метода сил составляется из условия отсутствия перемещения в направлении отброшенных связей. Поэтому для  $k$ -й отброшенной связи каноническое уравнение будет иметь вид:

$$\delta_{k1} X_1 + \dots + \delta_{km} X_m + \dots + \delta_{kk} X_k + \dots + \delta_{kn} X_n + \Delta_{kp} = 0; \quad k = 1, \dots, n, \quad (1)$$

где  $\delta_{km}$  – амплитуда перемещения по направлению неизвестной реакции отброшенной связи  $X_k$  от единичной силы  $X_m = 1 \sin \omega t$ ;

$\Delta_{kp}$  – амплитуда перемещения от внешней гармонической нагрузки в том же направлении.

Единичные перемещения  $\delta_{km}$  и свободные

члены  $\Delta_{kp}$  определяются по формуле Максвелла-Мора. Для определения частоты собственных колебаний в уравнении (1) принимается  $\Delta_{kp} = 0$ . Тогда канонические уравнения будут однородными и для получения значений неизвестных усилий в отброшенных связях  $X_m$ , отличных от нуля, необходимо, чтобы определитель из коэффициентов этих канонических уравнений был равен нулю. Раскрытие определителя дает уравнение для определения частот собственных колебаний рамы.

### Заключение

Метод сил практического динамического расчета рам в общем случае является чрезвычайно сложным и применяется в случаях, когда вычисление коэффициентов канонических уравнений не представляет затруднений. Точные методы динамического расчета рам даже при использовании ЭВМ являются чрезвычайно трудоемкими. В практических инженерных расчетах рам целесообразно использовать приближенные методы (методы Рэлея, Ритца, Бубнова-Галеркина), рассматривая рамы как системы с небольшим числом степеней свободы.

### Литература

1. Справочник по динамике сооружений / Б.Г. Корнев, И.М.Рабинович. – М.: Стройиздат, 1972. – 511 с.
2. Лодыгина Н.Д. Динамический расчет конструкций промышленных зданий и сооружений // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2014, №4(22). – С. 16-20.

### References

1. Spravochnik po dinamike sooruzhenij [Guide to the dynamics of structures] / B.G. Korenev, I.M.Rabinovich. – Moscow: Strojizdat, 1972. – 511 p.
2. Lodigina N.D. Dinamicheskij raschet konstrukcij promyshlennyh zdaniy i sooruzhenij [The dynamic analysis of industrial buildings and facilities]. // Mashinostroenie i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti [Engineering industry and life safety], №4, 2014. – P.16-20.

**Статья поступила в редакцию 18 мая 2015 г.**

---

*Лодыгина Нина Дмитриевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: [nina.lodygina@yandex.ru](mailto:nina.lodygina@yandex.ru)

---

*Lodigina Nina Dmitrievna* – Ph.D., Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: [nina.lodygina@yandex.ru](mailto:nina.lodygina@yandex.ru)