

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7559079>

УДК 69.04

## МЕТОДЫ ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СООРУЖЕНИЙ

**И.Н. Николотов,**

магистрант 3 курса, напр. «Строительство»

**Н.А. Антоненко,**

доц.,

Рязанский институт (филиал) Московского политехнического

университета,

г. Рязань

**Аннотация:** В статье рассматриваются существующие методы динамического расчета сооружений. Так же рассматриваются нормативно-технические базы при расчете динамических задач. При постановке задач математической динамики любая строительная конструкция имеет бесконечное множество динамических степеней свободы, а соответственно, бесконечное множество форм колебаний и собственных частот. Важное внимание уделяется методам синтеза подконструкций. Учитываются связанные вопросы в решении динамической задачи высших форм колебаний.

**Ключевые слова:** динамика, колебания, частоты, сооружения, конструкции

---

## METHODS OF DYNAMIC CALCULATION OF STRUCTURES

**I.N. Nikolotov,**

3rd year master's student, direction "Construction"

**N.A. Antonenko,**

Associate Professor,

Ryazan Institute (branch) of Moscow Polytechnic University,

Ryazan

**Annotation:** The article discusses the existing methods of dynamic calculation of structures. The regulatory and technical bases are also

considered when calculating dynamic tasks. When setting problems of mathematical dynamics, any building structure has an infinite set of dynamic degrees of freedom, and, accordingly, an infinite set of oscillation forms and natural frequencies. Important attention is paid to the methods of synthesis of substructures. Related issues are taken into account in solving the dynamic problem of higher forms of oscillations.

**Keywords:** dynamics, oscillations, frequencies, structures, constructions

---

Для решения задач динамики конструкций и сооружений, проектировщики обязаны использовать множество стандартов и норм [1-4].

В СП «Нагрузки и воздействия» [1] приводятся указания по учёту динамических нагрузок при расчёте зданий и сооружений по предельным состояниям первой и второй групп. В СН «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» [2] устанавливают классификацию, нормируемые параметры, предельно допустимые значения производственных вибраций, допустимые значения вибраций в жилых и общественных зданиях.

В свою очередь, государственный стандарт «Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения» [3] устанавливает общие принципы расчёта сооружений на динамические воздействия для обеспечения надёжности строительных конструкций и оснований сооружений (Пункты 6.1.3, 11.3 и 11.4).

Согласно СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах» [4] регламентирует методы расчёта сооружений на сейсмические воздействия, а также объёмно-планировочные решения при проектировании сейсмостойких зданий и сооружений.

Для нормальной оценки сейсмического воздействия на сооружение в России используется понятие «спектральная кривая коэффициента динамичности» –  $\beta$ . Кривые коэффициента динамичности  $\beta$  в российских нормах строятся, как функции периода свободных колебаний осциллятора. По мнению многих инженеров, коэффициент динамичности показывает, во сколько же раз динамическое воздействие превышает статическое.

Множественные воздействия на здания и сооружения несут динамический характер, приводящий конструкции и их элементы в колебательное движение. К воздействиям на здания и сооружения можно отнести ветровую нагрузку, ударную, вибрационную нагрузку от оборудования и многие другие нагрузки (рис. 1). При расчете строительные конструкции на динамические воздействия, очень часто используют метод разложения по собственным формам колебаний или спектральный метод [5].

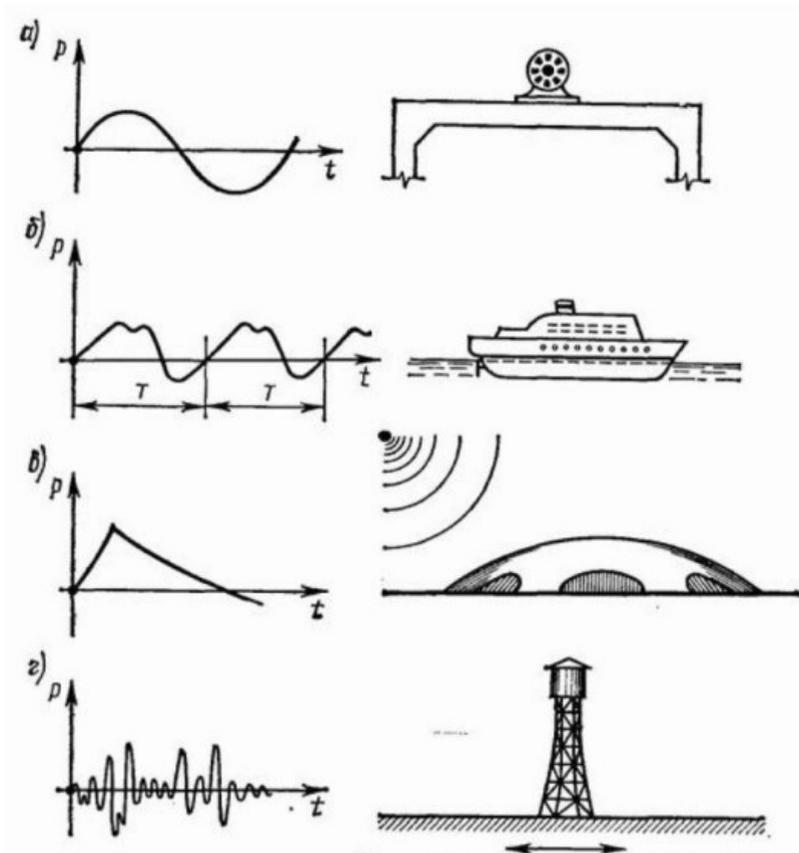


Рисунок 1 – Типовые динамические нагрузки  
(а) – гармоническая; б) – периодическая; в) – импульсивная; г) – длительная)

Спектральный метод основан на том, что сложные колебания строительных конструкций можно рассмотреть в качестве суперпозиции колебаний (рис. 2) по их собственным формам [6, 7]. Современные расчетные схемы строительных конструкций могут иметь несколько миллионов степеней свободы и нахождение решения по всем формам – это достаточно сложная задача, даже при использовании наиболее современных и мощных ЭВМ.

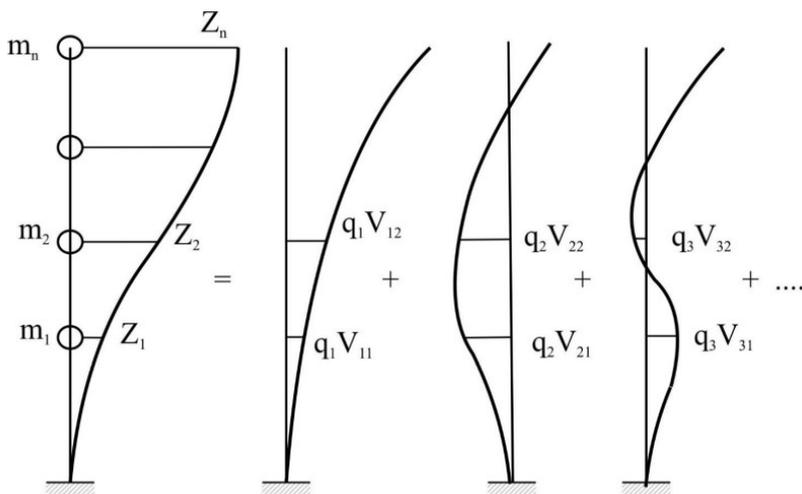


Рисунок 2 – Метод модальной суперпозиции

На практике, инженер-проектировщик выбирает нужное количество учитываемых форм и, чем больше это число, тем значительно дольше выполняется расчет, при этом данная зависимость имеет нелинейно возрастающий характер.

Одними из самых точных методов решения задач строительной механики являются метод сил и метод перемещений, их применяют и в динамических задачах (рис. 3). Оба этих метода применяются, и в ручных аналитических расчётах [8, 9], и при автоматизированных расчётах. В современных конечно-элементных комплексах чаще всего применяется метод перемещений. При этом уравнения во всех случаях решаются известными численными методами.

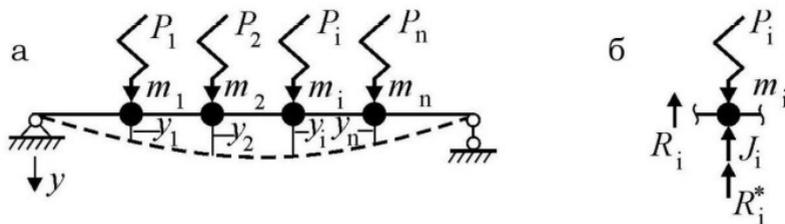


Рисунок 3 – Динамическое равновесие:  
(а – невесомая балка с точечными массами; б – масса в условиях динамического равновесия)

Наиболее универсальным численным методом является метод прямого интегрирования по времени (МПИ) [7-9]. Этот метод применим не только к линейным, но и к нелинейным задачам. В то же время, он является достаточно сложным и дорогостоящим, ввиду его трудоёмкости по вычислительным затратам. Поэтому этот метод целесообразно использовать в тех ситуациях, когда необходим уточненный анализ особо ответственных конструкций.

Одним из наиболее распространенных методов решения динамических задач расчета строительных конструкций является метод разложения по формам собственных колебаний (спектральный метод) [7-10].

Современные расчетные схемы сооружений могут содержать миллионы динамических степеней свободы. Вычислить полный набор собственных частот и форм колебаний для задач такой размерности практически невозможно. Поэтому в практических задачах учитывается сравнительно небольшое число форм колебаний в сравнении с полным количеством степеней свободы. Таким образом, важным становится вопрос определения необходимого количества учитываемых собственных форм или оценки вклада неучтенных высших собственных форм колебаний.

Исходя, из вышеперечисленного, должны быть разработаны надежные и эффективные методы определения собственных частот и форм колебаний строительных конструкций.

## Список литературы

- [1] СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* (с Изменением N 1). – М.: Стандартиформ, 2018. 95 с.
- [2] СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация. вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы. – М.: Информационноиздательский центр, – 1997. 13 с.
- [3] ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – М.: Стандартиформ, – 2015. 19 с.
- [4] СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*. – М.: Стандартиформ, – 2018. 208 с.
- [5] Рутман, Ю.Л. Динамика сооружений: сейсмостокость, сейсмозащита, ветровые нагрузки: Монография / Ю.Л. Рутман, Н.В. Островская. – СПбГАСУ, 2019. 253 с.
- [6] Игнатьев В.А. Основы строительной механика: Учебники и учебные пособия для вузов / В.А. Игнатьев, В.В. Галишникова. – М.: Издательство АСВ, 2009. 500 с.
- [7] Масленников А.М. Динамика и устойчивость сооружений. Учебник и практикум для вузов / А.М. Масленников. – Москва: Издательство Юрайт, 2019. 366 с.
- [8] Васильков Г.В. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений: учебное пособие / Г.В. Васильков, З.В. Буйко. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. 256 с.
- [9] Смирнов А.Ф. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений / А.Ф. Смирнов, А.В. Александров, Б.Я. Лащеников, Н.Н. Шапошников. – М.: Стройиздат, 1984. 416 с.
- [10] Александров А.В. Строительная механика. В 2 кн. Кн. 2. Динамика и устойчивость упругих систем: учеб. пособие для вузов / А.В. Александров, В.Д. Потапов, В.Б. Зылев. – М.: Высшая школа, 2008. 384 с.

## Bibliography (Transliterated)

- [1] SP 20.13330.2016 Loads and impacts. Updated version of SNiP 2.01.07-85\* (with Amendment No. 1). – М.: Standartinform, 2018. 95 p.

[2] СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Industrial vibration. vibration in residential and public buildings. Sanitary standards. – М.: Information and publishing center, – 1997. 13 p.

[3] GOST 27751-2014. Reliability of building structures and foundations. Basic provisions. – М.: Standartinform, – 2015. 19 p.

[4] SP 14.13330.2018. Construction in seismic areas. Updated version of SNIIP II-7-81\*. – М.: Standartinform, – 2018. 208 p.

[5] Rutman, Yu.L. Dynamics of structures: seismic resistance, seismic protection, wind loads: Monograph / Yu.L. Rutman, N.V. Ostrovskaya. – SPbGASU, 2019. 253 p.

[6] Ignatiev V.A. Fundamentals of Structural Mechanics: Textbooks and teaching aids for universities / V.A. Ignatiev, V.V. Galishnikov. – М.: DIA Publishing House, 2009. 500 p.

[7] Maslennikov A.M. Dynamics and stability of structures. Textbook and workshop for universities / A.M. Maslennikov. – Moscow: Yurayt Publishing House, 2019. 366 p.

[8] Vasilkov G.V. Structural mechanics. Dynamics and stability of structures: textbook / G.V. Vasilkov, Z.V. Buyko. – St. Petersburg: Publishing house "Lan", 2013. 256 p.

[9] Smirnov A.F. Structural mechanics. Dynamics and stability of structures / A.F. Smirnov, A.V. Aleksandrov, B.Ya. Laschenikov, N.N. Shaposhnikov. – М.: Stroyizdat, 1984. 416 p.

[10] Alexandrov A.V. Structural mechanics. In 2 books. Book. 2. Dynamics and stability of elastic systems: textbook. allowance for universities / A.V. Aleksandrov, V.D. Potapov, V.B. Zylev. – М.: Higher school, 2008. 384 p.

© И.Н. Николотов, Н.А. Антоненко, 2023

Поступила в редакцию 22.12.2022

Принята к публикации 12.01.2023

---

### **Для цитирования:**

Николотов И.Н., Антоненко Н.А. Методы динамического расчета сооружений // Инновационные научные исследования. 2023. № 1-1(25). С. 67-73. URL: <https://ip-journal.ru/>