

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ЗДАНИЯ ОТ ВЫСОТЫ ЗДАНИЯ В СРЕДЕ AUTODESK ROBOT STRUCTURAL 2019

Цыкина А.С.<sup>1</sup>, Ярцев В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Цыкина Анна Сергеевна - студент магистратуры,  
направление теория проектирования зданий и сооружений;  
<sup>2</sup>Ярцев Виктор Петрович - доктор технических наук, профессор,  
кафедра Конструкции зданий и сооружений,  
Тамбовский государственный технический университет  
г. Тамбов

**Аннотация:** в статье рассматривается вопрос определения частот собственных колебаний здания посредством программного комплекса Autodesk Robot Structural 2019 при различной высоте здания.

Целью работы является исследование зависимости частот собственных колебаний здания от высоты здания в среде Autodesk Robot Structural 2019 и ее влияние на изменение пульсационной составляющей ветровой нагрузки.

**Ключевые слова:** частота собственных колебаний здания, предельное значение частоты собственных колебаний, высотные здания, Autodesk Robot Structural 2019.

## STUDY OF DEPENDENCE OF BUILDING NATURAL VIBRATION FREQUENCIES ON BUILDING HEIGHT IN AUTODESK ROBOT STRUCTURAL 2019 ENVIRONMENT

Tsykina A.S.<sup>1</sup>, Yartsev V.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tsykina Anna Sergeevna - master's student,  
DIRECTION THEORY OF DESIGN OF BUILDINGS AND STRUCTURES;  
<sup>2</sup>Yartsev Viktor Petrovich - Doctor of Technical Sciences, Professor,  
DEPARTMENT OF CONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES,  
TAMBOV STATE TECHNICAL UNIVERSITY,  
TAMBOV

**Abstract:** the article deals with the issue of determining the natural vibration frequencies of a building using the Autodesk Robot Structural 2019 software package at different building heights.

The aim of the work is to study the dependence of the frequencies of natural oscillations of the building on the height of the building in the Autodesk Robot Structural 2019 environment and its influence on the change in the fluctuating component of the wind load.

**Keywords:** building natural frequency, natural frequency limit, high-rise buildings, Autodesk Robot Structural 2019.

УДК 69.032.22

В данной статье рассматривается исследование зависимости частот собственных колебаний здания от высоты здания в среде Autodesk Robot Structural 2019.

Объектом исследования выступило здание 25-ти этажного офисного центра со каркасной конструктивной системой с высотой этажа 3,6 м и двумя подземными этажами высотой 3,6 м, на которых расположена подземная автопарковка. Конструктивная схема здания – рамная [2]. Каркас здания выполнен монолитным. Класс бетона монолитных конструкций – В50. Сечение колонн принято 60x70 см и 70x70 см. Толщина монолитных плит перекрытия и покрытия – 15 см. Сечение балок перекрытия составляет 60x40(h) и 70x40(h). Жесткости и устойчивость в дополнение к жесткому диску перекрытия, образованному монолитной плитой, и жесткому сопряжению балок перекрытия между собой и с колоннами обеспечивают ядра жесткости в виде монолитных стен, образованных вокруг лестничных клеток и лифтовых шахт.

План первого этажа здания представлен на рисунке 1.

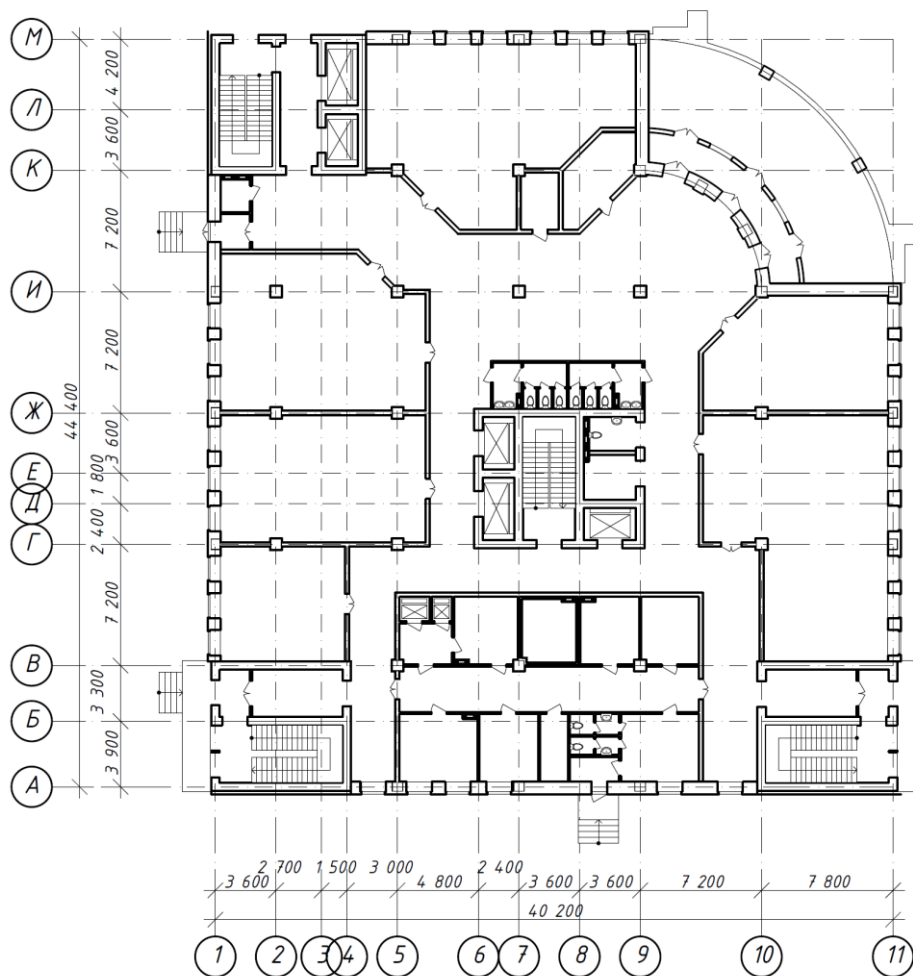


Рис. 1. План 1-го этажа модели здания.

В процессе исследования у здания посредством модального анализа программного комплекса Autodesk Robot Structural 2019 определялась частота собственных колебаний несущего каркаса здания. На первом этапе определялась частота собственных колебаний для здания этажностью 25 этажей. Затем этажность модели здания постепенно уменьшалась с шагом 6 этажей и также для каждой полученной новой модели, отличающейся от исходной, этажностью. Этажность вариантов представлена 25-ти, 19-ти, 13-ти, 6-ти, 3-х и 1-но этажной моделями здания.

Часть из описанных выше вариантов представлена на рисунке 2.

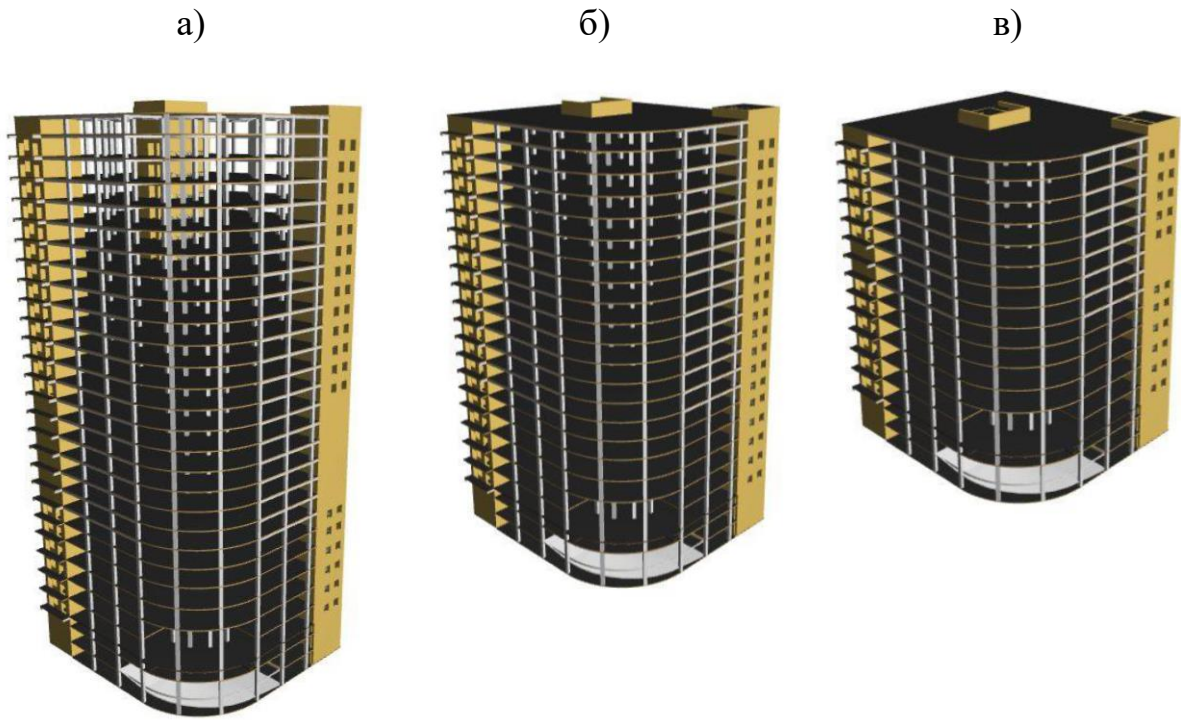


Рис. 2. Исследуемые варианты с различной этажностью.  
 а) 25-этажная модель здания; б) 19-этажная модель здания; в) 13-этажная модель здания

Согласно [3] частота собственных колебаний здания является определяющим параметром величины пульсационной составляющей ветровой нагрузки, действующей на здание.

Ветровая нагрузка определяется по формуле:

$$\omega = \omega_m + \omega_p \quad (1)$$

$$\omega_m = \omega_0 \cdot k(z_e) \cdot c \quad (2)$$

где  $\omega_0$  - нормативное значение ветрового давления,  
 $k(z_e)$  - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте;  
 $c$  - аэродинамический коэффициент.

Для сооружений (и их конструктивных элементов), у которых первая частота собственных колебаний  $f_1$ , Гц, больше предельного значения собственной частоты  $f_{lim}$ , пульсационная составляющая находится по формуле:

$$\omega_p = \omega_m \cdot \zeta(z_e) \cdot v, \quad (3)$$

где  $\zeta(z_e)$  - коэффициент пульсации давления ветра, принимаемый по таблице [3];  
 $v$ , коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра, принимаемый по таблице [3];

Для всех сооружений (и их конструктивных элементов), у которых  $f_1 < f_{lim} < f_2$  - по формуле:

$$\omega_p = \omega_m \cdot \xi \cdot \zeta(z_e) \cdot v, \quad (4)$$

где  $f_2$  - вторая собственная частота;

$\xi$  - коэффициент динамичности, определяемый по [3] в зависимости от суммарного логарифмического декремента колебаний  $\delta$  и безразмерного периода  $T_{g,1}$ , который определяется по формуле (5) для первой собственной частоты  $f_1$ ;

$$T_{g,1} = \frac{\sqrt{\omega_0 \cdot k(z_e) \cdot \gamma_f}}{940 \cdot f_1}, \quad (5)$$

Для сооружений, у которых вторая собственная частота меньше предельной, необходимо производить динамический расчет с учетом  $s$  первых форм собственных колебаний. Число  $s$  следует определять из условия  $f_s < f_{lim} < f_{s+1}$ ;

Предельное значение частоты собственных колебаний определяется по формуле, согласно [3]:

$$f_{lim} = \frac{\sqrt{\omega_0 \cdot k(z_e) \cdot \gamma_f}}{940 \cdot T_{g,lim}}, \quad (6)$$

где  $T_{g,lim}$  - параметр, зависящий от суммарного логарифмического декремента  $\delta$ , принимаемого по [3].

Результаты исследования представлены в таблице 1 и на рисунках 3 и 4. Также в таблице произведен расчет ветровой нагрузки для различной этажности зданий с учетом частот собственных колебаний.

При расчете зданий допускается учитывать динамическую реакцию по трем нижшим собственным формам колебаний (двум изгибным и одной крутильной или смешанным крутильно-изгибным) [3].

Таблица 1. Частоты собственных колебаний здания и расчет ветровой нагрузки.

Наименование параметра	Этажность (высота здания)					
	1 (4,95 м)	4 (17,55 м)	7 (28,35 м)	13 (49,95 м)	19 (71,55 м)	25 (93,15 м)
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
$f_1$	5,14	2,29	1,35	0,64	0,38	0,25
$f_2$	5,22	2,4	1,42	0,7	0,42	0,28
$f_3$	5,37	3,04	2	1,05	0,69	0,49
$k(z_e)$	0,5	0,83	0,98	1,2	1,38	1,53
$f_{im}$	0,67	0,86	0,94	1,04	1,11	1,17
$T_{g,1}$	0,003	0,009	0,016	0,037	0,067	0,108
$T_{g,2}$	-	-	-	0,034	0,061	0,096
$T_{g,3}$	-	-	-	-	0,037	0,055
$\xi_1$	1,05	1,25	1,25	1,4	1,62	1,75
$\xi_2$	-	-	-	1,45	1,6	1,74
$\xi_3$	-	-	-	-	1,48	1,57
$\zeta(z_e)$	1,22	0,94	0,86	0,77	0,72	0,68
$v$	0,72	0,7	0,68	0,66	0,64	0,62
$\omega_{p1}$ , кПа	0,11	0,13	0,14	0,20	0,25	0,27
$\omega_{p2}$ , кПа	-	-	-	0,21	0,24	0,27
$\omega_{p3}$ , кПа	-	-	-	-	0,23	0,24
$\sum \omega_p$ , кПа	0,11	0,13	0,14	0,42	0,72	0,78
$\omega_m$ , кПа	0,12	0,20	0,24	0,29	0,33	0,37
$\omega_m$ , кПа + $\sum \omega_p$ , кПа	0,23	0,33	0,37	0,71	1,05	1,15

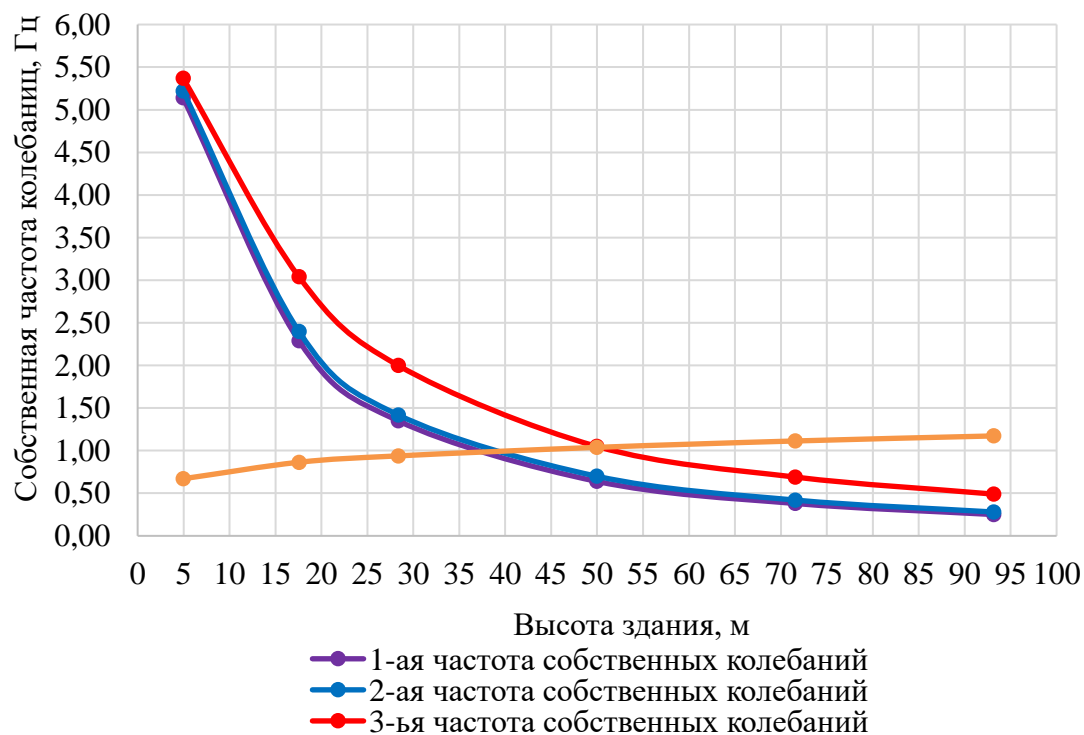


Рис. 3. Зависимость 3-х первых частот собственных колебаний здания от высоты здания.

Как видно из графика, представленного на рисунке 3, значение показателя частот собственных колебаний одного и того же здания уменьшается с увеличением этажности, первые три частоты собственных колебаний идут практически параллельно друг другу. Предельная частота собственных колебаний устремляется в рост с увеличением этажности, следовательно, увеличение этажности здания провоцирует рост пульсационной составляющей ветровой нагрузки, так как в диапазонах, где она превышает частоты собственных колебаний необходим учет нескольких форм колебаний здания и согласно [3] при расчете зданий появляется необходимость учета динамической реакции по трем низшим собственным формам колебаний (двум изгибным и одной крутильной).

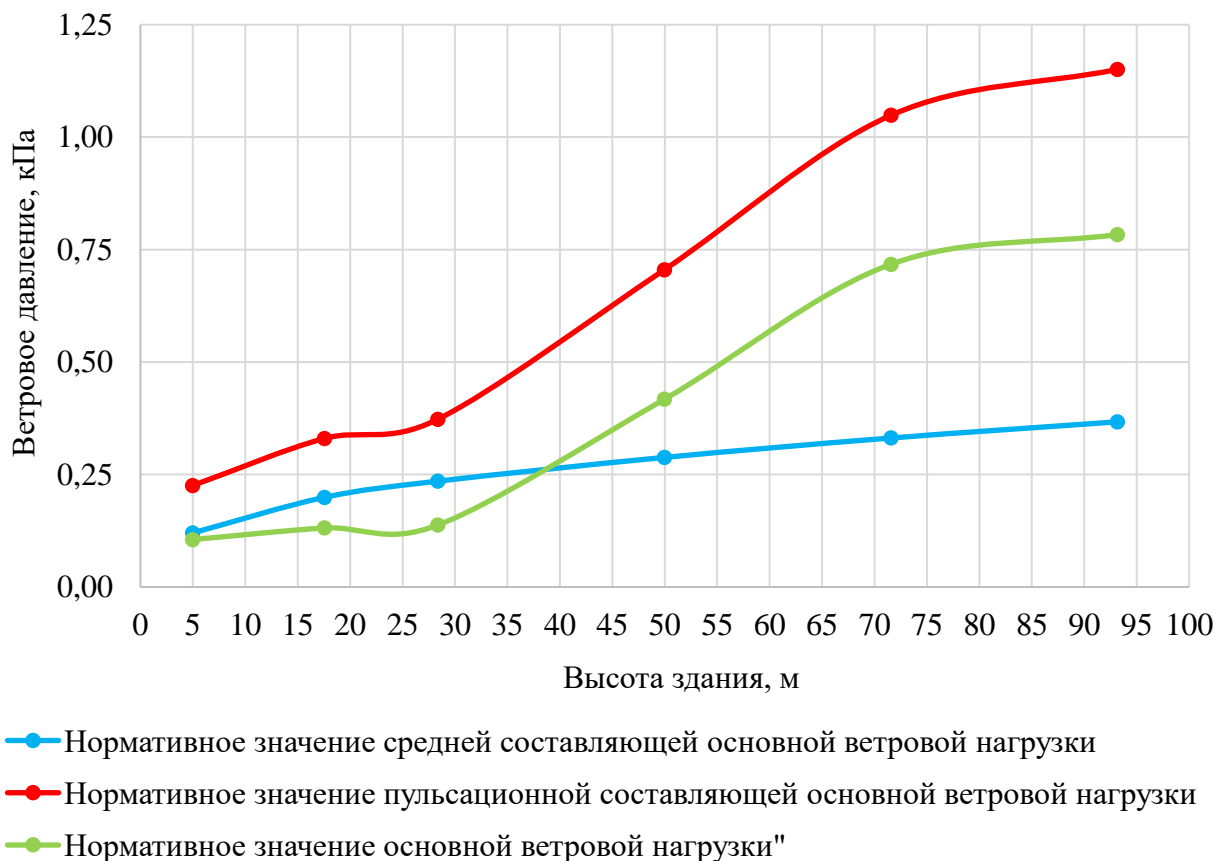


Рис. 4. Зависимость средней и пульсационной составляющей ветровой нагрузки от высоты здания.

Как видно из графика, представленного на рисунке 4, выводы, которые сделаны на основе графика, представленного на рисунке 3, подтверждаются. Увеличение высоты здания в определенный момент провоцирует резкий рост ветровой нагрузки за счет ее пульсационной составляющей.

#### Список литературы / References

1. СП 267.1325800.2016. ЗДАНИЯ И КОМПЛЕКСЫ ВЫСОТНЫЕ. Правила проектирования. Официальное издание. М.: Акционерное общество "ЦНИИЭП жилища - институт комплексного проектирования жилых и общественных зданий", 2017. – 109 с.
2. Шерешевский И.А. Конструирование гражданских зданий. Учеб. пособие для студентов строительных специальностей. – м.: «Архитектура-С», 2005, 176 с.
3. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*. Официальное издание. М.: Росстандарт ФГУП "Стандартинформ", 2017. – 104 с.