

## ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ВЕТРОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПОКРЫТИЕ ТРИБУНЫ СТАДИОНА УРФУ

*Алехин В.Н., Абдуллах Х.*

Уральский федеральный университет имени первого президента России

Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

hussein.abdallah.1996@gmail.com

**Аннотация.** В данной статье будет рассматриваться важность применения численного анализа при расчете ветровых нагрузок для зданий сложной формы, а также сравнение со стандартным расчетом на основе СП-20.13330.2016, поскольку при использовании инженерами таких норм (коды) возникают некоторые трудности, как сложность задания аэродинамических коэффициентов и учета влияния окружающих зданий (как положительного, так и отрицательного).

**Ключевые слова:** численный анализ, ветровые нагрузки, аэродинамические коэффициенты, стационарный расчет, нестационарный расчет, вычислительная механика жидкости и газа (CFD), навес трибуны.

## NUMERICAL ANALYSIS OF WIND IMPACTS ON THE CANOPY OF URFU STADIUM TRIBUNE

*Alekhin V.N., Abdullah H.*

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

**Abstract.** This paper will demonstrate the importance of numerical analysis utilization in wind loads calculations for complex shape buildings, and comparison with the standard calculation based on the Russian construction code SP-20.13330.2016, since some difficulties arise when engineers use the standards (codes) such as complexity of setting aerodynamic coefficients and considering the influence of the surrounding buildings (both positive and negative).

**Keywords:** numerical analysis, wind loads, aerodynamic coefficients, steady state analysis, transient analysis, computational fluid dynamics (CFD), tribune canopy.

### Введение

Прогресс строительной отрасли, стремительно начавшийся в XX веке, привел к возведению высотных и большепролетных зданий и сооружений, появлению легких и в то же время прочных материалов. Вместе с этим возникли проблемы в обеспечении требуемых надежности, жесткости и устойчивости

возводимых конструкций. Одним из наиболее опасных внешних факторов, воздействующих на здания и сооружения, стал ветер.

### **Определение ветровой нагрузки по нормативным документам**

Нормативное значение ветровой нагрузки складывается из средней  $w_m$  и пульсационной  $w_g$  составляющих [1, п. 11]:

$$w = w_m + w_g \quad (1)$$

Средняя составляющая ветровой нагрузки  $w_m$  в зависимости от эквивалентной высоты  $z_e$  над поверхностью земли определяется по формуле:

$$w_m = w_0 \cdot k(z_e) \cdot c, \quad (2)$$

Значение пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки  $w_g$  определяется в зависимости от собственных частот колебаний.

### **Стационарный расчет**

Распределение скорости ветра по высоте рассчитывается по формуле [3]:

$$U(z) = U_0 \left( \frac{z}{z_0} \right)^\alpha, \quad (3)$$

где  $U_0$  – характерная скорость нормативного ветра, м/с:

$$U_0 = \left( \frac{2 \cdot w_0}{\rho} \right)^{0,5}; \quad (4)$$

$z$  – расстояние по вертикали от поверхности земли, м;

$z_0$  – параметр нормативного ветра (высота  $z = z_0$ , на которой  $q(z) = w_0$ ), м;

$\alpha$  – параметр степенного закона, определяющего изменение скоростного напора нормативного ветра по высоте  $z$ ;

$w_0$  – нормативное значение ветрового давления, принимаемое в зависимости от ветрового района, Па;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

По результатам стационарного анализа полное давление определяется как сумма среднего давления  $w_m$  полученного в программе ANSYS, и пульсирующего давления  $w_g$ .

Средние давления были определены для наиболее опасных участков: консольный и пролетный участки покрытия (см. рисунок 1).

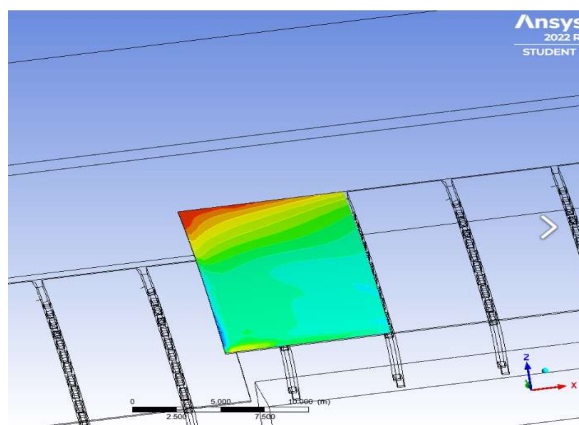


Рисунок 1 –Участок конструкций покрытия трибуны, для которого производился расчет

### Нестационарный расчет

Итогом решения задачи в нестационарной постановке является получение ветрового давления на поверхности покрытия для каждого шага времени.

Проанализировав результаты, для исследуемой поверхности можно определить максимальное  $P_{max}$ , минимальное  $P_{min}$ , среднее  $P$  значения ветрового давления, а также его пульсационные составляющие  $P_{puls+}$  и  $P_{puls-}$  по формулам[4]:

$$\begin{aligned}
 P_{max} &= \max_{i \in [m,n]} (p_i); \\
 P_{min} &= \min_{i \in [m,n]} (p_i); \\
 P &= \frac{1}{n - m + 1} \sum_{i=m}^n p_i; \\
 P_{puls+} &= P_{max} - P; \\
 P_{puls-} &= P_{min} - P,
 \end{aligned} \tag{5}$$

где  $p_i$  – давление на  $i$ -ом шаге времени, Па;

$n$  – общее количество временных шагов,  $n = 634$ ;

$m$  – шаг, с которого начинается обработка результатов,  $m = 6$ .

### Сравнение полученных значений ветровой нагрузки

По данным таблиц построены графики для сравнения ветровых нагрузок, полученных при расчете (см. рисунок 2-5).

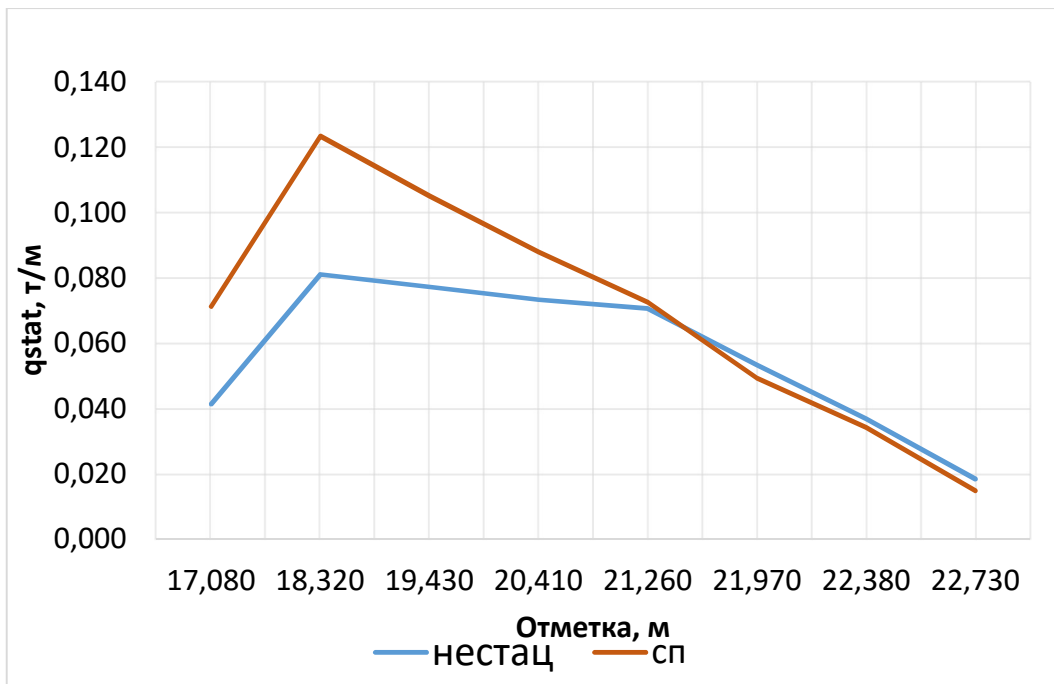


Рисунок 2 – График сравнения средней составляющей ветровой нагрузки.  
Направление Ю-В

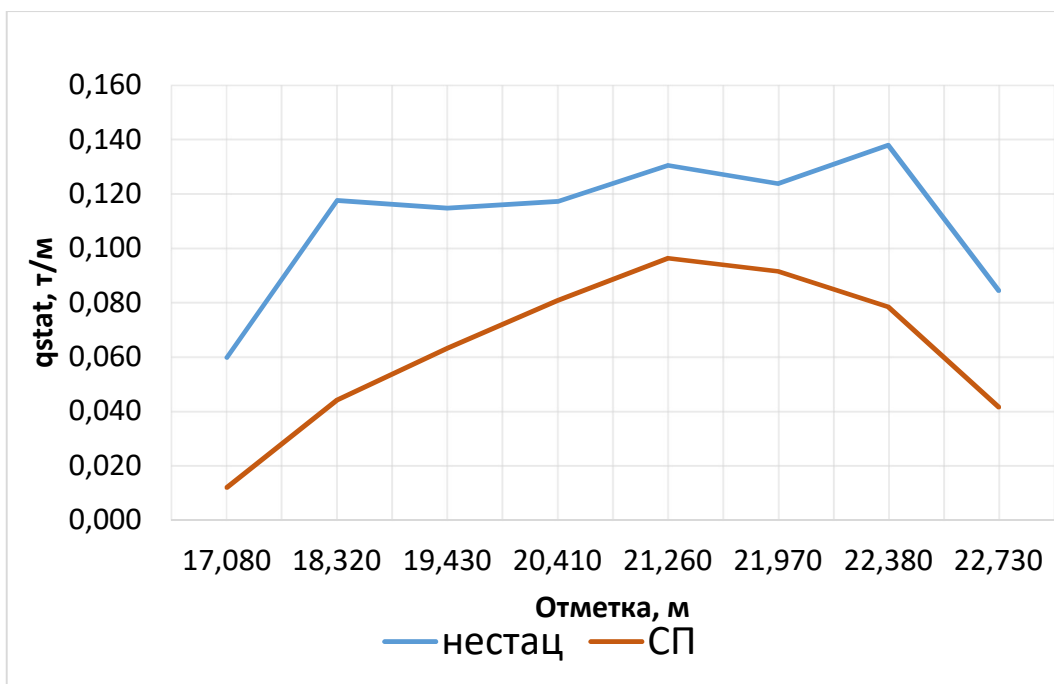


Рисунок 3 – График сравнения средней составляющей ветровой нагрузки.  
Направление С-З

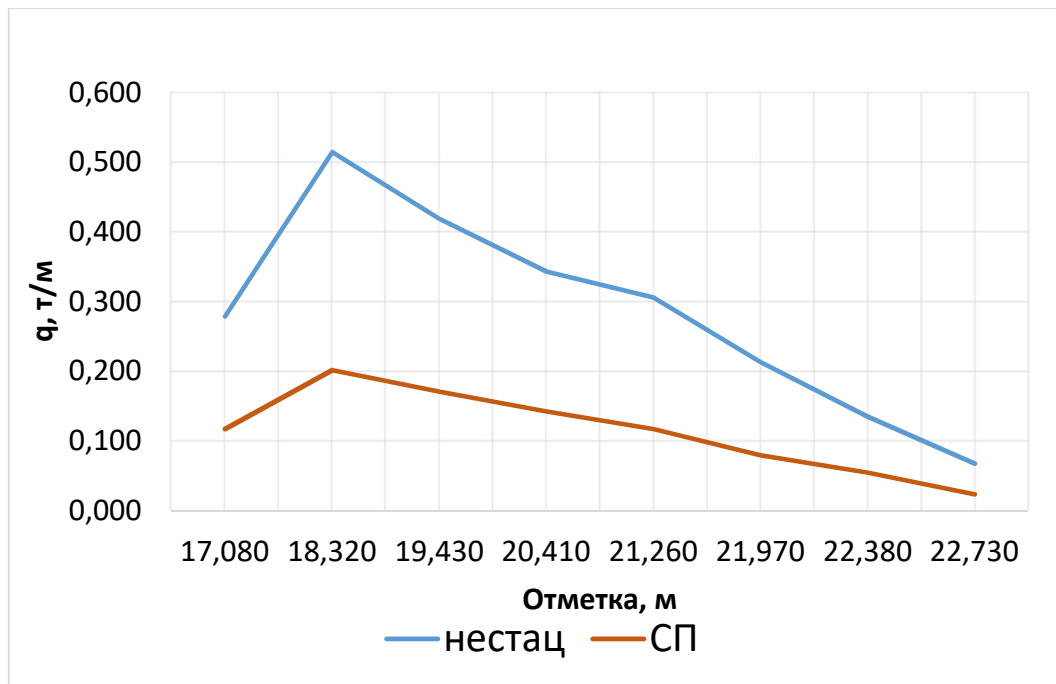


Рисунок 4 – График сравнения полной ветровой нагрузки. Направление Ю-В

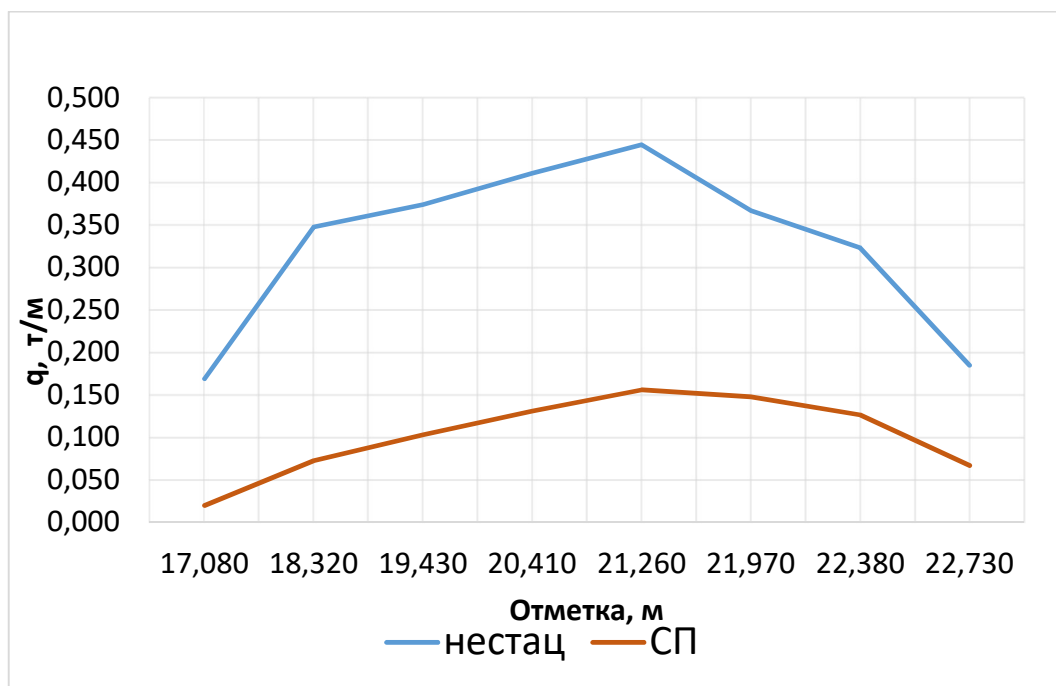


Рисунок 5 – График сравнения полной ветровой нагрузки. Направление С-З

### Заключение

Сравнивая графики значений средней составляющей ветровой нагрузки и полной ветровой нагрузки, можно сделать вывод о том, что значительный вклад в общую величину вносит именно пульсационная составляющая (по результатам нестационарного расчета), значение которой при расчете по действующему нормативу не настолько велико. Причиной довольно сильного расхождения результатов расчета могут быть: неточный учет рельефа местности, ошибки в

определении коэффициента пространственной корреляции ввиду расхождения рассчитываемой конструкции с приведенной схемой в СП.

#### **Библиографический список**

1. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*. – М.: Минрегион России, 2016. – 104 с.
2. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
3. ГОСТ Р 56728-2015 Здания и сооружения. Методика определения ветровых нагрузок на ограждающие конструкции. – М: Стандартинформ, 2016. – 9 с.
4. Математическое (численное) моделирование ветровых нагрузок и воздействий. Методическое пособие. А. М. Белостоцкий, П. А. Акимов, И. Н. Афанасьева, О.С. Горячевский, И.Ю. Ланцова, Н.А. Бритиков. 2020 г. — 65 стр.
5. Дубинский С.И. Численное моделирование ветровых воздействий на высотные здания и комплексы: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.13.18 / Дубинский Сергей Иванович. – М., 2010. – 199 с.
6. Воздействие ветра на здания и сооружения. Эмиль Симиу, Роберт Сканлан. – М.: Стройиздат, 1984. – 358 с.