



ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
METAL CONSTRUCTIONS

2023, ТОМ 29, НОМЕР 1, 5–21

EDN: PVLGRP

УДК 621.3.016.3(08)

(23)-0385-1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУЛЬСАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ОСНОВНОЙ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ 17-ТИ ЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ С РАМНО-СВЯЗЕВЫМ КАРКАСОМ В ПК ЛИРА-САПР 2016 С УЧЕТОМ СП 20.13330.2016 «НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ»

А. Н. Миронов¹, К. В. Парасюк²

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, Российская Федерация, 286123.

E-mail: ¹ a.n.mironov@donnasa.ru, ² kir190701@gmail.com.

Получена 10 мая 2023; принята 23 мая 2023.

Аннотация. В данной статье производится исследование возможности и правильности автоматизированного сбора пульсационной составляющей ветровой нагрузки в ПК Ли́ра-САПР в связи с важностью правильного учета ветровой нагрузки с увеличением высоты проектируемого здания, что обусловлено значительным ростом величины ветрового давления вследствие уменьшения трения о земную поверхность. Также с увеличением высоты здания растет влияние ветровой нагрузки на поперечные сечения элементов, в частности несущих колонн, и правильный учет основной ветровой нагрузки, состоящей из средней (статической) и пульсационной (динамической) составляющих, значительно влияет на надежность и экономичность строительных конструкций. В статье рассмотрен сбор средней составляющей основной ветровой нагрузки ручным способом и автоматизированный учет пульсационной составляющей ветровой нагрузки при помощи ПК Ли́ра-САПР 2016 на примере 17-этажного жилого здания. Проанализирована правильность учета программным комплексом требуемых частот собственных колебаний, определена методика учета частот колебаний в расчетном сочетании нагрузок (РСН). Выявлены соответствия алгоритма расчета программного комплекса действующим нормативным документам (СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»).

Ключевые слова: пульсационная составляющая, ветровая нагрузка, рамно-связевой каркас, многоэтажные здания.

ВИЗНАЧЕННЯ ПУЛЬСАЦІЙНОЇ СКЛАДОВОЇ ОСНОВНОГО ВІТРОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ДЛЯ 17 ПОВЕРХОВОЇ БУДІВЛІ З РАМНО-В'ЯЗОВИМ КАРКАСОМ В ПК ЛІРА-САПР 2016 З УРАХУВАННЯМ ЗП 20.13330.2016 « НАВАНТАЖЕННЯ І ВПЛИВИ »

А. М. Миронов¹, К. В. Парасюк²

ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,

2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, Російська Федерація, 286123.

E-mail: ¹ a.n.mironov@donnasa.ru, ² kir190701@gmail.com.

Отримана 10 травня 2023; прийнята 23 травня 2023.

Анотація. У даній статті проводиться дослідження можливості і правильності автоматизованого збору пульсаційної складової вітрового навантаження в ПК ЛІРА-САПР у зв'язку з важливістю правильного



урахування вітрового навантаження зі збільшенням висоти проекрованої будівлі, що обумовлено значним зростанням величини вітрового тиску, внаслідок зменшення тертя об земну поверхню. Так само зі збільшенням висоти будівлі зростає вплив вітрового навантаження на поперечні перерізи елементів, зокрема несучих колон, і правильне урахування основного вітрового навантаження, що складається з середньої (статичної) і пульсаційної (динамічної) складових, значно впливає на надійність і економічність будівельних конструкцій. У статті розглянуто збір середньої складової основного вітрового навантаження ручним способом та автоматизований облік пульсаційної складової вітрового навантаження за допомогою ПК ЛІРА-САПР 2016 на прикладі 17-ти поверхового житлового будинку. Проаналізовано правильність обліку програмним комплексом необхідних частот власних коливань, визначено методику обліку частот коливань у розрахунковому поєднанні навантажень (РСН). Виявлено відповідність алгоритму розрахунку програмного комплексу чинним нормативним документам (ЗП 20.13330.2016 «Навантаження та впливи»).

Ключові слова: пульсаційна складова, вітрове навантаження, рамно-в'язовий каркас, багатоповерхові будівлі.

DETERMINATION OF THE PULSATION COMPONENT OF THE MAIN WIND LOAD FOR A 17-STORY BUILDING WITH A FRAME FRAME IN THE LIRA-CAD 2016 PC, TAKING INTO ACCOUNT SP 20.13330.2016 «LOADS AND IMPACTS»

Andrey Mironov¹, Kirill Parasyuk²

*FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture»,
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, Russian Federation, 286123.*

E-mail: ¹ a.n.myronov@donnasa.ru, ² kir190701@gmail.com.

Received 10 May 2023; accepted 23 May 2023.

Abstract. This article investigates the possibility and correctness of automated collection of the pulsation component of the wind load in the Lira-CAD PC, due to the importance of correctly accounting for the wind load with an increase in the height of the projected building, which is due to a significant increase in wind pressure due to a decrease in friction on the ground surface. Also, with an increase in the height of the building, the influence of wind load on the cross-sections of elements, in particular load-bearing columns, increases, and the correct accounting of the main wind load, consisting of medium (static) and pulsation (dynamic) components, significantly affects the reliability and efficiency of building structures. The article considers the collection of the average component of the main wind load manually, and automated accounting of the pulsating component of the wind load using the Lira-CAD 2016 PC, using the example of a 17-storey residential building. The correctness of accounting for the required natural oscillation frequencies by the software package is analyzed, the method of accounting for oscillation frequencies in the calculated combination of loads (RSN) is determined. The compliance of the algorithm for calculating the software package with the current regulatory documents (SP 20.13330.2016 «Loads and impacts») was revealed.

Keywords: pulsation component, wind load, frame-link frame, multi-storey buildings.

Введение

С начала 2000-х годов всё большую популярность и распространение обретают многоэтажные административные и жилые дома с рамно-связевым каркасом, со стеновым заполнением из кирпича или ячеистых бетонов, с последующим выполнением фасадов вентилируемого или «мокрого» типа. Каркас в таких зданиях может выполняться как из монолитного железобетона,

состоящего из колонн и плоских безбалочных перекрытий, так и сборным, с применением стальных колонн и балочных перекрытий. Несмотря на большую распространенность зданий с железобетонным каркасом, имеются предпосылки к массовому переходу на использование стальных каркасов в связи с разработкой Министерством строительства и жилищного хозяйства Российской Федерации дорожной карты

развития стального строительства и создания каталогов типовых проектов жилых домов с применением стального каркаса.

Этажность таких зданий, как правило, составляет не менее 17 этажей, что соответствует высоте 50 м и более. Вследствие большой высоты весомое влияние на поперечные сечения элементов зданий, в особенности колонн, оказывает горизонтальная ветровая нагрузка. С увеличением высоты здания ветровая нагрузка значительно возрастает, ввиду уменьшения трения о поверхность земли и прилегающие объекты.

В действующих нормативных документах СП 20.133330.2016 «Нагрузки и воздействия» [1], согласно примечанию 1, к пункту 11.1.8, указаны типы зданий и местности, для которых расчет пульсационной составляющей выполняется по формуле 11.5, вне зависимости от частоты собственных колебаний. Здания, не удовлетворяющие данным требованиям, необходимо подвергать модальному анализу, с целью выявления необходимых форм колебаний и соответствующей методики расчета.

Многие авторы занимались исследованием влияния ветровой нагрузки на каркас здания, методиками сбора и учета пульсационной и статической составляющих. Одной из основополагающих работ является книга Г. А. Савицкого [2]. В ней автор рассматривает как общие сведения о ветровой нагрузке, так и данные о структуре ветра и критерии аэродинамической устойчивости, которая привлекает внимание к вибрации конструкций от ветра. В книге даны сведения о важности учета собственных колебаний для металлических сооружений и зданий с металлическим каркасом, которые, в отличие от железобетонных конструкций, обладают меньшей жесткостью, и влияние на которые значительно возрастает с изменением частоты собственных колебаний. Влияние порывов ветра оценивают динамическим коэффициентом, учитывающим их повторное действие.

В работах Г. М. Кравченко, Е. В. Труфановой и А. В. Долженко [3, 9] была доказана важность учета пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки на примере определения горизонтальных перемещений верхней точки многоэтажного здания. Был произведен сравнительный анализ перемещений с учетом только статической составляющей и с учетом как

статической, так и динамической составляющих. При этом было получено, что перемещения от статической составляющей в 1,4 раза меньше, чем перемещения от пульсации.

В работе А. А. Шулеповой [13] были исследованы вопросы влияния пульсационной составляющей на параметры динамической комфортности.

Сравнение методик сбора ветровой нагрузки по нормам Российской Федерации и Еврокодам приведено в работе Д. С. Горнак [4]. Эффективность методик расчета статической и пульсационной составляющих основной ветровой нагрузки согласно действующим нормам доказана методами испытаний в аэродинамической трубе в работе С. В. Гувернюка, А. А. Синявина, В. Г. Гагарина [5]. В работе С. В. Гувернюка и В. Г. Гагарина [6] рассмотрены вопросы возможности применения существующих методик определения ветровых нагрузок на конструкции высотных зданий, имеющих сложные формы, с применением компьютерных технологий математического моделирования. В статье А. И. Колесникова [7] производится исследование методики расчета высотных зданий на воздействие ветровой нагрузки в программном комплексе Ansys.

Расчёт ветровой нагрузки в программе «WindPressure» с учетом требований норм был произведен в работе [11].

Влияние пульсационной составляющей ветровой нагрузки на каркас здания с безригельным перекрытием было оценено в работе С. В. Туровского [12].

Важной является работа [17], в которой производится сравнение методик, изложенных в нормах и расчет пульсации в соответствии с рекомендациями ЦНИИСК им. Кучеренко.

В работе [18] было изучено воздействие ветровой нагрузки на высотные здания, с целью разработки мер, уменьшающих её воздействие. При этом авторы развили идею McCarthy [20], которая заключается в применении массивных демпферов для зданий, в которых по каким-либо конструктивным соображениям нет возможности использовать иные методы уменьшения влияния ветровой нагрузки.

Начиная с первого десятилетия XXI-го века, модальный анализ и сбор пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки реализован

во множестве программных комплексов, таких как ПК Лира САПР, ЛИРА СОФТ, СКАД и так далее, в основе которых лежит численный метод исследований (метод конечных элементов), рассмотренный детально в статьях [15,16]. Это позволяет значительно ускорить процесс расчета здания и сбор необходимых данных. Однако зачастую инженеры не углубляются в методику расчета программы и не рассматривают, какие формы колебаний учитывает программный комплекс.

Краткие сведения об объекте, сбор нагрузок и модальный анализ

В качестве исследования было произведено моделирование семнадцатипятиэтажного жилого дома, с несущими стальными колоннами из двутавра, и перекрытиями, выполненными из железобетонных плит по стальным балкам. Размеры здания в крайних осях «1-8» и «А-Ж» – 42,0×36,0 м. Высота этажа $h_{эт} = 3,1$ м. Высота от уровня земли до верхней отметки здания $h = 52,7$ м. Сбор нагрузок выполнялся согласно действующим нормативным документам, район строительства для сбора и учета снеговых и ветровых нагрузок был выбран г. Ростов-на-Дону. Общий вид каркаса здания представлен на рисунке 1.

Собственный вес колонн, ригелей, распорок, связей и железобетонных плит учтен автоматически в ПК ЛИРА САПР 2016R5 при задании жесткости элементов. Постоянная нагрузка от собственного веса конструкций перекрытия и покрытия задана в виде распределенной нагрузки по площади пластин, моделирующих плиты перекрытий и покрытий соответственно. Сбор постоянной нагрузки на перекрытие представлен в таблице 1.

Сбор нагрузок на покрытие представлен в таблице 2.

Постоянная нагрузка от собственного веса наружных ограждающих конструкций задана в виде распределенной нагрузки длине стержней по наружному контуру здания:

$$q_{ст} = \gamma_{кладка} \cdot \gamma_f \cdot t_{ст} \cdot (H_{эт} - h_{плиты}) = \\ = 18 \cdot 1,1 \cdot 0,51 \cdot (3,1 - 0,2) = 29,29 \text{ кН / м},$$

где $\gamma_{кладка} = 18 \text{ кН/м}^3$ – удельный вес кирпичной кладки;

γ_f – коэффициент надежности по нагрузке согласно п. 2 таблицы 7.1 [1];

$t_{ст}$ – толщина кирпичной кладки.

Постоянная нагрузка от веса парапетной кладки на покрытие, выполненной из керамического кирпича толщиной 250 мм, также задавалась по периметру здания:

$$q_{парапета} = \gamma_{кладка} \cdot \gamma_f \cdot t_{ст} \cdot h_{парапета} = \\ = 18 \cdot 1,1 \cdot 0,25 \cdot 1,5 = 7,425 \text{ кН / м}.$$

Сбор временной кратковременной полезной нагрузки выполнен согласно таблицы 8.3 [1] и представлен в таблице 3.

Нормативное значение временной кратковременной снеговой нагрузки определено по формуле:

$$S_0 = C_e \cdot C_t \cdot \mu \cdot S_g = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,0 \text{ кПа},$$

где $C_e = 1,0$, по п. 10.6 [1];

$C_t = 1,0$, по п. 10.10 [1];

$S_g = 1,0 \text{ кН/м}^2$ по карте 1 [1], для г. Ростов-на-Дону (II-й снеговой район);

μ – коэффициент перехода от веса снегового покрова на земле, к весу на покрытии, определяем согласно приложению Б [1].

Угол наклона покрытия $\alpha < 15^\circ$, по пункту Б.5 необходимо учитывать только вариант 1, с равномерным распределением снегового покрова по кровле, с коэффициентом $\mu = 1,0$.

Расчетное значение временной кратковременной снеговой нагрузки:

$$S = S_0 \cdot \gamma_f = 1,0 \cdot 1,4 = 1,4 \text{ кПа},$$

где γ_f – по пункту 10.12 [1].

Временная кратковременная снеговая нагрузка прикладывалась по площади пластин, моделирующих плиты покрытия на отметке +52,700 м.

Для правильного учета количества форм колебаний, с целью сбора пульсационной составляющей временной кратковременной ветровой нагрузки, был произведен модальный анализ согласно методике, рассмотренной в работе [10,19]. Для этого выполнен сбор масс от статических вертикальных загрузок и создано динамическое нагружение модального анализа. Параметры сбора масс приведены на рисунке 2, параметры динамического нагружения приведены на

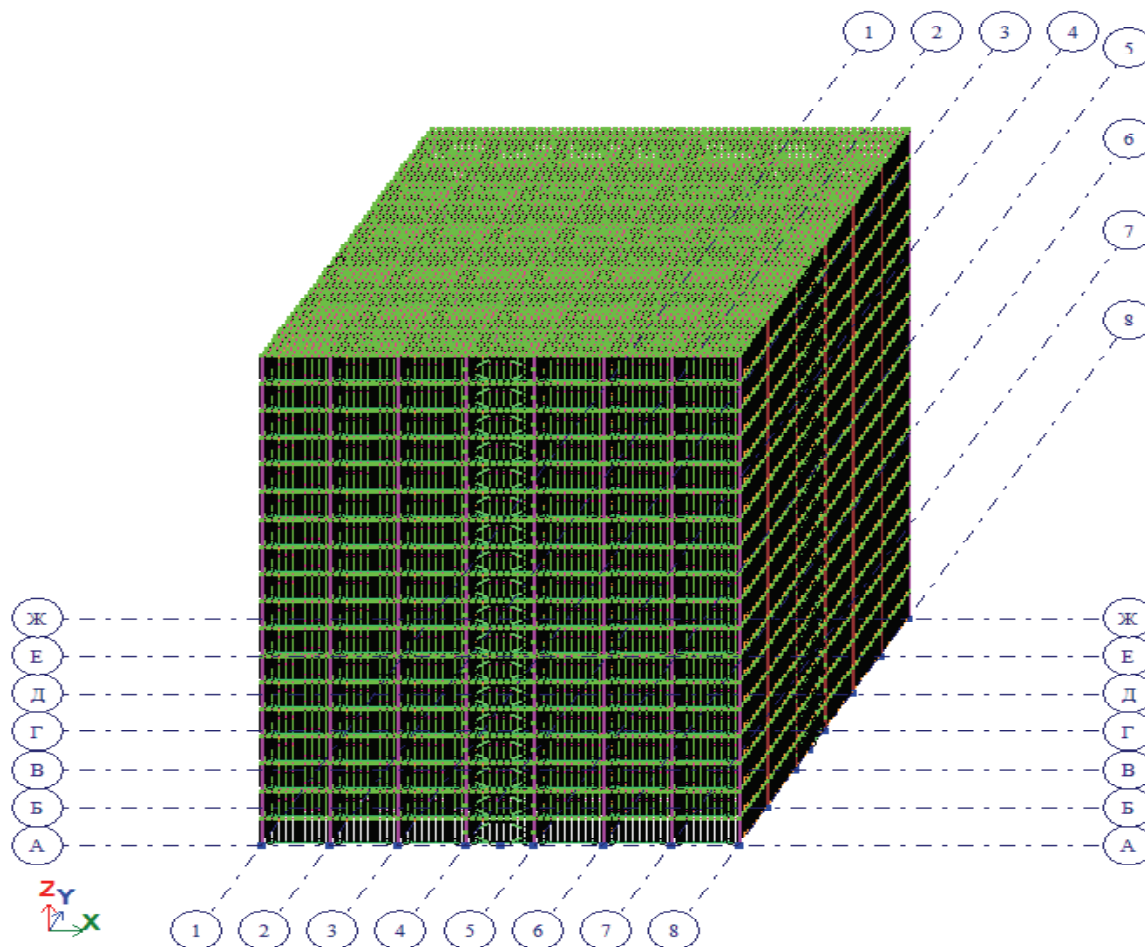


Рисунок 1. Общий вид каркаса здания в ПК Лира-САПР 2016.

Таблица 1. Сбор нагрузок на перекрытие.

№ п/п	Вид нагрузки	Нормативное значение q_n , кПа	γ_f	Расчетное значение q_R , кПа
1	Покрывтие пола линолеумом, толщиной 2 мм, $\rho = 1\ 800\ \text{кг/м}^3$	0,036	1,2	0,043
2	Цементно-песчаная стяжка, толщиной 60 мм, $\rho = 1\ 800\ \text{кг/м}^3$	1,08	1,3	1,41
3	Звукоизоляционные плиты из минеральной ваты, толщиной 50 мм, $\rho = 350\ \text{кг/м}^3$	0,175	1,2	0,21
Всего:		1,291		1,663

Таблица 2. Сбор нагрузок на покрытие.

№ п/п	Вид нагрузки	Нормативное значение q_n , кПа	γ_f	Расчетное значение q_r , кПа
1	Полимерная мембрана, толщиной 6 мм, $\rho = 2\,000 \text{ кг/м}^3$	0,12	1,2	0,144
2	Цементно-песчаная стяжка, толщиной 60 мм, $\rho = 2\,100 \text{ кг/м}^3$	1,26	1,3	1,64
3	Теплоизоляционные плиты из минеральной ваты, толщиной 100 мм, $\rho = 100 \text{ кг/м}^3$	0,1	1,2	0,12
4	Разуклонка керамзитовый гравий 10...250 мм, $\rho = 6000 \text{ кг/м}^3$	1,5	1,3	1,95
Всего:		2,98		3,854

Таблица 3. Сбор временной кратковременной нагрузки на перекрытие.

№ п/п	Вид нагрузки	Нормативное значение q_n , кПа	γ_f	Расчетное значение q_r , кПа
1	Квартиры жилых зданий	1,5	1,3	1,95
Всего:		1,5		1,95

рисунке 3. В параметрах модального анализа были учтены 25 форм колебаний.

Используемая методика и принципы расчетов рассмотрены в работах [13,14], где была доказана их эффективность.

Согласно пункту 11.1.8 [1], существует три варианта расчета пульсационной составляющей:

Первый, при котором первая частота собственных колебаний f_1 больше предельного значения собственной частоты f_{lim} , тогда расчет пульсационной составляющей ведется по первой форме, без учета коэффициента динамичности.

При этом формула имеет вид:

$$W_p = W_m \cdot \zeta(Z_e) \cdot v,$$

где $\zeta(Z_e)$ – коэффициент пульсации давления ветра, принимаемый по таблице 11.4 или формуле (11.6) [1] для эквивалентной высоты;

v – коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра.

Второй, при котором предельное значение частоты собственных колебаний f_{lim} , больше первой частоты f_1 , но меньше второй частоты собственных колебаний f_2 , тогда расчет ведется с учетом

коэффициента динамичности ξ , зависящего от декремента колебаний δ . При этом формула имеет вид:

$$W_p = W_m \cdot \xi \cdot \zeta(Z_e) \cdot v.$$

И третий вариант для сооружений, у которых вторая собственная частота меньше предельной, тогда необходимо производить расчет с учетом s первых форм собственных колебаний. При этом число s определяют из условия:

$$f_s < f_{lim} < f_{s+1},$$

Таким образом, необходимо производить расчет пульсационной составляющей по формуле: $W_p = W_m \cdot \xi \cdot \zeta(Z_e) \cdot v$, для каждой формы, имеющей значение частоты меньше предельного. Итоговое значение пульсационной составляющей определяют по формуле:

$$X^2 = \sum X_s^2,$$

где X – суммарные усилия или перемещения;
 X_s – усилия или перемещения по s -й форме колебаний.

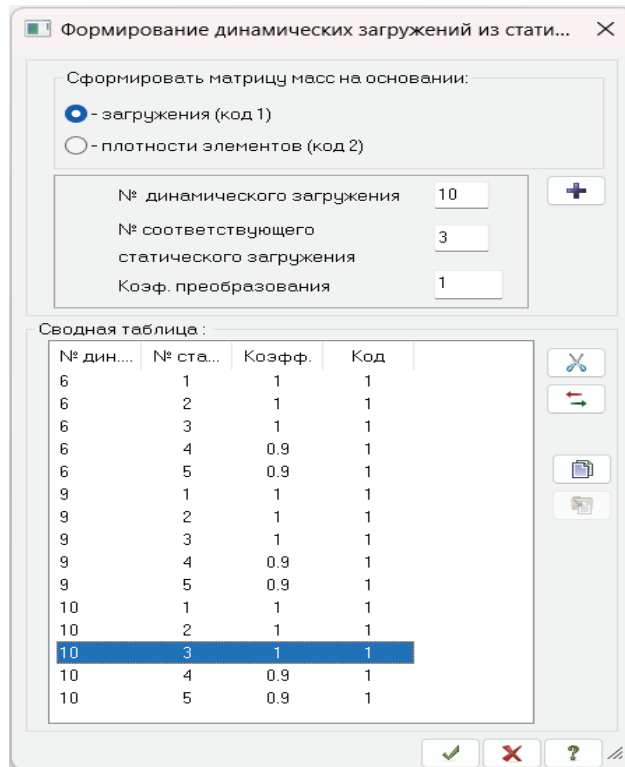


Рисунок 2 . Параметры сбора масс.

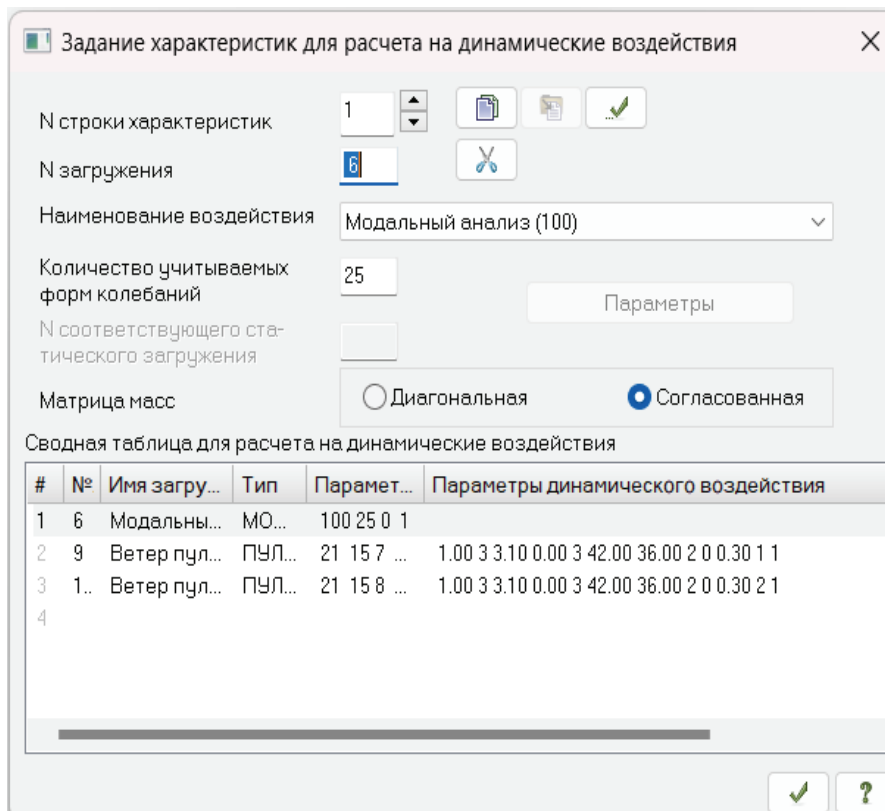


Рисунок 3. Параметры динамического нагружения модального анализа

Таблица 4. Частоты собственных колебаний первых 25 форм.

№ формы	Собст. значения	Частоты		Период (с)	Коэф. распред.	Мод. масса (%)	Сумма мод. масс (%)
		Круг. частота (рад/с)	Частота (Гц)				
1	0,804	1,244	0,198	5,051	1,324	26,029	26,029
2	0,562	1,780	0,283	3,530	0,024	0,006	26,035
3	0,487	2,054	0,327	3,059	1,348	26,012	52,048
4	0,263	3,805	0,606	1,651	0,485	3,523	55,571
5	0,184	5,437	0,865	1,156	- 0,010	0,001	55,572
6	0,160	6,245	0,994	1,006	0,490	3,540	59,112
7	0,151	6,618	1,053	0,949	- 0,274	1,186	60,297
8	0,106	9,423	1,500	0,667	- 0,078	0,059	60,356
9	0,106	9,434	1,502	0,666	- 0,230	0,555	60,911
10	0,092	10,882	1,732	0,577	- 0,276	1,170	62,081
11	0,081	12,291	1,956	0,511	- 0,147	0,365	62,446
12	0,075	13,411	2,134	0,469	- 0,006	0,000	62,446
13	0,066	15,152	2,412	0,415	- 0,130	0,286	62,732
14	0,065	15,343	2,442	0,410	0,017	0,005	62,737
15	0,064	15,522	2,470	0,405	1,433	27,336	90,073
16	0,063	15,926	2,535	0,395	- 0,051	0,018	90,091
17	0,059	16,851	2,682	0,373	0,162	0,166	90,257
18	0,059	17,042	2,712	0,369	- 0,030	0,006	90,263
19	0,058	17,284	2,751	0,364	- 0,006	0,000	90,263
20	0,057	17,628	2,806	0,356	0,005	0,000	90,263
21	0,055	18,077	2,877	0,348	0,100	0,167	90,430
22	0,054	18,403	2,929	0,341	0,019	0,001	90,432
23	0,051	19,560	3,113	0,321	0,014	0,001	90,432
24	0,050	20,128	3,203	0,312	0,240	0,190	90,623
25	0,049	20,309	3,232	0,309	- 0,124	0,267	90,890

Предельное значение собственной частоты колебаний исследуемого здания было определено по таблице 11.5, приведенной на рисунке 4.

Предельное значение $f_{\text{lim}} = 1,2$ Гц, для III-го ветрового района и декремента колебаний $\delta = 0,3$, согласно п. 11.1.10.а, для зданий со стальным каркасом при наличии ограждающих конструкций.

Таким образом, проанализировав таблицу 4, было определено, что при сборе пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки **необходимо учитывать 7 первых форм собственных колебаний**, обладающих частотами с меньшим значением, чем предельное $f_{\text{lim}} = 1,2$ Гц.

Согласно пункту 11.1.2 [1] нормативное значение временной кратковременной основной ветровой нагрузки определяется по формуле:

$$W = W_m + W_p,$$

где W_m – нормативное значение средней составляющей основной ветровой нагрузки;

W_p – нормативное значение пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки.

Нормативное значение W_m определяется по формуле:

$$W_m = W_0 \cdot k(z_e) \cdot C,$$

где $W_0 = 0,38$ кПа согласно табл. 11.1 [1], для III района, г. Ростов-на-Дону.

$k(z_e)$ – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты z_e , определяемый по п. 11.1.5 [1];

C – аэродинамический коэффициент, определяемый по п. В.1.2 приложения В [1].

Коэффициент $k(z_e)$ для зданий при направлении ветра вдоль оси X , $d = 36,0$ м $< h = 52,7$ м $\leq 2d = 72,0$ м (вариант 2б по п. 11.1.5 [1]):

Таблица 11.5

Ветровые районы (принимаются по карте 3 приложения Е)	f_{lim} , Гц		Ветровые районы (принимаются по карте 3 приложения Е)	f_{lim} , Гц	
	$\delta = 0,3$	$\delta = 0,15$		$\delta = 0,3$	$\delta = 0,15$
Ia	0,85	2,6	IV	1,4	4,3
I	0,95	2,9	V	1,6	5,0
II	1,1	3,4	VI	1,7	5,6
III	1,2	3,8	VII	1,9	5,9

Рисунок 4. Предельные частоты колебаний зданий.

Для высот $z \geq h - d = 52,7 - 36,0 = 16,7$ м – $-z_e = h = 52,7$ м.

Для высот $0 \leq z < 16,7$ м – $-z_e = d = 36,0$ м.

$k(z_e) = 1,23$ – по таблице 11.2 [1], для типа местности – В и $z_e = h = 52,7$ м;

$k(z_e) = 1,05$ – по таблице 11.2 [1], для типа местности – В и $z_e = h = 36,0$ м;

Коэффициент $k(z_e)$ для зданий при направлении ветра вдоль оси Y, $d = 42,0$ м $< h = 52,7$ м $\leq 2d = 84,0$ м (вариант 2б по п. 11.1.5 [1]).

Для высот $z \geq h - d = 52,7 - 42 = 10,7$ м – $-z_e = h = 52,7$ м.

Для высот $0 \leq z < 10,7$ м – $-z_e = d = 42,0$ м

$k(z_e) = 1,23$ – по таблице 11.2 [1], для типа местности – В и $z_e = h = 52,7$ м;

$k(z_e)$ – по таблице 11.2 [1], для типа местности – В и $z_e = h = 42,0$ м;

Согласно рисунку 5 для наветренных и подветренных стен здания имеется распределение на зоны A, B, C, D, E.

Распределение аэродинамических коэффициентов для различных зон представлено на рисунке 6.

Зонирование боковых стен при ветре вдоль оси X:

$$e = \min \begin{cases} b = 36 \text{ м} \\ 2 \cdot h = 72 \text{ м} \end{cases} \rightarrow e = 36 \text{ м},$$

Боковые стены имеют три зоны: A, B, C. Зона A = 7,2 м, B = 28,8 м, C = 6 м.

Зонирование боковых стен при ветре вдоль оси Y:

$$e = \min \begin{cases} b = 42 \text{ м} \\ 2 \cdot h = 72 \text{ м} \end{cases} \rightarrow e = 42 \text{ м},$$

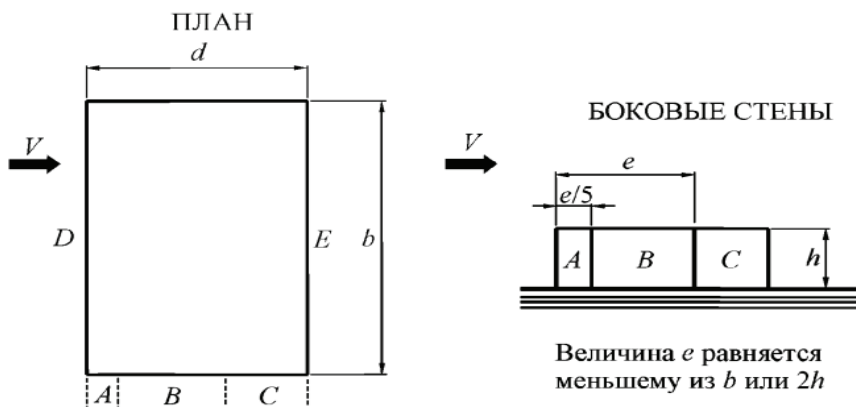


Рисунок 5. Распределение зон ветрового давления.

Боковые стены имеют две зоны: А, В. Зона А = 8,4 м, В = 27,6 м.

Расчет средней составляющей основной ветровой нагрузки представлен в таблице 5.

Нормативное значение пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки W_p – учтено при помощи создания динамического нагружения от статической средней составляющей основной ветровой нагрузки в ПК Лира-САПР 2016R5.

Для этого созданы мгновенные пульсационные нагрузки на основе неактивных статических ветровых нагружений. Сбор масс для учета колебаний осуществлен от всех статических нагружений с учетом коэффициентов сочетаний по п. 6.3 и п. 6.4 [1]. Для постоянных нагрузок $\psi = 1,0$, для временных кратковременных $\psi = 0,90$. Параметры сбора масс были приведены ранее на рисунке 2. Параметры динамических нагружений пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки приведены на рисунках 7, 8.

При сборе учитывались 15 форм собственных колебаний, с целью выявления правильности учета необходимых форм в ПК Лира-САПР 2016.

Таким образом, расчетная схема состояла из 78 162 узлов и 94 500 элементов, 10 отдельных нагружений, представленных в таблице 6.

Создание РСН и определение правильности учета форм колебаний

Для определения количества учитываемых форм колебаний в ПК Лира-САПР 2016 были созданы РСН1 и РСН2, учитывающие только пульсации ветра вдоль оси X и вдоль оси Y (загружения 9 и 10), параметры которых представлены в таблице 7.

Для определения правильности учета форм колебаний была выделена колонна нижнего этажа в осях «Б-2» и учтены усилия от 7 форм собственных колебаний, приведенные в таблице 8.

Усилия от статической составляющей, от нагружений 7 и 8:

$$N_7 = -57,8804 \text{ кН};$$

$$N_8 = 29,8881 \text{ кН}.$$

Суммарные усилия в колонне «Б-2» от пульсационных составляющих согласно СП 20.133330.2016:

$$\begin{aligned} X_9 &= \sqrt{\sum X_s^2} = \\ &= \sqrt{54,663^2 + 0,4473^2 + 0,0064^2 + 4,441^2 +} \\ &= \sqrt{+0,0422^2 + 0,0088^2 + 0,157^2} = \\ &= -54,845 \text{ кН} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{10} &= \sqrt{\sum X_s^2} = \\ &= \sqrt{0,002^2 + 1,103^2 + 36,32^2 + 0,00125^2 +} \\ &= \sqrt{0,07708^2 + 5,541^2 + 0,00201^2} = \\ &= 36,757 \text{ кН} \end{aligned}$$

Теоретические значения основной (суммарной) ветровой нагрузки от нагружения 7+9 (вдоль оси X):

$$N_{\text{сумм}(x+)} = N_7 + X_9 = -57,8804 + (-54,845) = -112,7254 \text{ кН}$$

Теоретические значения основной (суммарной) ветровой нагрузки от нагружения 8+10 (вдоль оси Y):

$$N_{\text{сумм}(y+)} = N_8 + X_{10} = 29,8881 + 36,757 = 66,6451 \text{ кН}$$

Значение усилия от РСН1 и РСН2 в ПК Лира-САПР 2016 приведены ниже и на рисунках 9 и 10:

$$N_{\text{РСН1}} = -112,726 \text{ кН},$$

$$N_{\text{РСН2}} = 66,6416 \text{ кН}.$$

Расхождение в результатах теоретических и вычисленных в РСН в ПК Лира-САПР 2016 составило:

$$\Delta_1 = \frac{112,726 - 112,7254}{112,726} = 0,001\%,$$

$$\Delta_2 = \frac{66,6451 - 66,6416}{66,6451} = 0,01\%$$

Таблица 5. Расчет средней составляющей основной ветровой нагрузки

Отметка, м	W_0 , кПа	$k(z_e)$	C	W_m'' , кПа	B , м	W_m'' , кН/м	γ_f	W_m , кН/м
Ветер в торцевой фасад вдоль оси X								
Стена наветренной стороны (зона D)								
Колонны А1 и Ж1								
$0 < z < 16,7$	0,38	1,05	+0,8	0,32	3,0	0,96	1,4	1,34
$16,7 \leq z \leq 52,7$	0,38	1,23	+0,8	0,37	3,0	1,12	1,4	1,57
Колонны Б1 – Е1								
$0 < z < 16,7$	0,38	1,05	+0,8	0,32	6,0	1,92	1,4	2,68
$16,7 \leq z \leq 52,7$	0,38	1,23	+0,8	0,37	6,0	2,22	1,4	3,11
Стена подветренной стороны (зона E)								
Колонны А8 и Ж8								
$0 < z < 16,7$	0,38	1,05	-0,5	-0,2	3,0	-0,6	1,4	-0,84
$16,7 \leq z \leq 52,7$	0,38	1,23	-0,5	-0,23	3,0	-0,69	1,4	-0,97
Колонны Б8 – Ж8								
$0 < z < 16,7$	0,38	1,05	-0,5	-0,2	6,0	-1,2	1,4	-1,68
$16,7 \leq z \leq 52,7$	0,38	1,23	-0,5	-0,23	6,0	-1,38	1,4	-1,93
Стена подветренной стороны (зоны А, В, С)								
Колонны А1 и Ж1 (зона А)								
$0 < z < 16,7$	0,38	1,05	-1,0	-0,4	3,0	-1,2	1,4	-1,68
$16,7 \leq z \leq 52,7$	0,38	1,23	-1,0	-0,47	3,0	-1,41	1,4	-1,97
Колонна А2 и Ж2 (зона А и В)								
$0 < z < 16,7$	0,38	1,05	-1,0; -0,8	-0,4; -0,32	4,2; 1,8	-2,26	1,4	-3,16
$16,7 \leq z \leq 52,7$	0,38	1,23	-1,0; -0,8	-0,47; -0,37	4,2; 1,8	-2,64	1,4	-3,7
Колонны А3, Ж3 – А6, Ж6 (зона В)								
$0 < z < 16,7$	0,38	1,05	-0,8	-0,32	6,0	-1,92	1,4	-2,68
$16,7 \leq z \leq 52,7$	0,38	1,23	-0,8	-0,37	6,0	-2,22	1,4	-3,1
Колонны А7 и Ж7 (зона В и С)								
$0 < z < 16,7$	0,38	1,05	-0,8; -0,5	-0,32; -0,2	3,0; 3,0	-1,56	1,4	-2,18
$16,7 \leq z \leq 52,7$	0,38	1,23	-0,8; -0,5	-0,37; -0,23	3,0; 3,0	-1,8	1,4	-2,52
Колонны А8 и Ж8 (зона С)								
$0 < z < 16,7$	0,38	1,05	-0,5	-0,2	3,0	-0,6	1,4	-0,84
$16,7 \leq z \leq 52,7$	0,38	1,23	-0,5	-0,23	3,0	-0,69	1,4	-0,97
Ветер в главный фасад вдоль оси Y								
Стена наветренной стороны (зона D)								
Колонны А1 и А8								
$0 < z < 10,7$	0,38	1,12	+0,8	0,34	3,0	1,02	1,4	1,43
$10,7 \leq z \leq 52,7$	0,38	1,23	+0,8	0,37	3,0	1,12	1,4	1,57
Колонны А2 – А8								
$0 < z < 10,7$	0,38	1,12	+0,8	0,34	6,0	2,04	1,4	2,86
$10,7 \leq z \leq 52,7$	0,38	1,23	+0,8	0,37	6,0	2,22	1,4	3,1
Стена подветренной стороны (зона E)								
Колонны Ж1 и Ж8								
$0 < z < 10,7$	0,38	1,12	-0,5	-0,21	3,0	-0,63	1,4	-0,88
$10,7 \leq z \leq 52,7$	0,38	1,23	-0,5	-0,23	3,0	-0,69	1,4	-0,97
Колонны Ж2 – Ж7								
$0 < z < 10,7$	0,38	1,12	-0,5	-0,21	6,0	-1,26	1,4	-1,76
$10,7 \leq z \leq 52,7$	0,38	1,23	-0,5	-0,23	6,0	-1,38	1,4	-1,93
Стена подветренной стороны (зоны А, В)								
Колонны А1 и А8 (зона А)								
$0 < z < 10,7$	0,38	1,12	-1,0	-0,43	3,0	-1,29	1,4	-1,8
$10,7 \leq z \leq 52,7$	0,38	1,23	-1,0	-0,47	3,0	-1,41	1,4	-1,97
Колонны Б1 и Б8 (зона А и В)								
$0 < z < 10,7$	0,38	1,12	-1,0; -0,8	-0,43; -0,34	5,4; 0,6	-2,53	1,4	-3,53
$10,7 \leq z \leq 52,7$	0,38	1,23	-1,0; -0,8	-0,47; -0,37	5,4; 0,6	-2,76	1,4	-3,86
Колонны В1, Е1 – В8, Е8 (зона В)								
$0 < z < 10,7$	0,38	1,12	-0,8	-0,34	6,0	-2,04	1,4	-2,86
$10,7 \leq z \leq 52,7$	0,38	1,23	-0,8	-0,37	6,0	-2,22	1,4	-3,1
Колонны Ж1 и Ж8 (зона В)								
$0 < z < 10,7$	0,38	1,12	-0,8	-0,34	3,0	-1,02	1,4	-1,43
$10,7 \leq z \leq 52,7$	0,38	1,23	-0,8	-0,37	3,0	-1,12	1,4	-1,57

Задание характеристик для расчета на динамические воздействия

N строки характеристик: 2

N загрузки: 9

Наименование воздействия: Пульсационное (21)

Количество учитываемых форм колебаний: 15

N соответствующего статического нагружения: 7

Матрица масс: Диагональная Согласованная

Сводная таблица для расчета на динамические воздействия

#	№	Имя загруз...	Тип	Парамет...	Параметры динамического воздействия
1	6	Модальны...	МО...	100 25 0 1	
2	9	Ветер пул...	ПУЛ...	21 15 7 ...	1.00 3 3.10 0.00 3 42.00 36.00 2 0 0.30 1 1
3	1..	Ветер пул...	ПУЛ...	21 15 8 ...	1.00 3 3.10 0.00 3 42.00 36.00 2 0 0.30 2 1
4					

Рисунок 7. Параметры сбора масс.

Задание характеристик для расчета на динамические воздействия

N строки характеристик: 3

N загрузки: 10

Наименование воздействия: Пульсационное (21)

Количество учитываемых форм колебаний: 15

N соответствующего статического нагружения: 8

Матрица масс: Диагональная Согласованная

Сводная таблица для расчета на динамические воздействия

#	№	Имя загруз...	Тип	Парамет...	Параметры динамического воздействия
1	6	Модальны...	МО...	100 25 0 1	
2	9	Ветер пул...	ПУЛ...	21 15 7 ...	1.00 3 3.10 0.00 3 42.00 36.00 2 0 0.30 1 1
3	1..	Ветер пул...	ПУЛ...	21 15 8 ...	1.00 3 3.10 0.00 3 42.00 36.00 2 0 0.30 2 1
4					

Рисунок 8. Параметры сбора масс.

Таблица 6. Параметры загружений расчетной схемы.

№ загр.	Имя загрузки	Вид	Объед. загр.	Взаимо искл.	γ_f	Pq/Pch
1	Собственный вес стальных к-ций	Постоянная (П)			1,1	1,0
2	Вес к-ций покрытия и перекрытий	Постоянная (П)			1,2	1,0
3	Вес наружных ограждающих к-ций	Постоянная (П)			1,1	1,0
4	Снеговая нагрузка	Кратковр. (К)			1,4	0,35
5	Полезная на все пролеты	Кратковр. (К)			1,3	0,35
6	Модальный анализ	Неактивная (Н/а)			0,0	0,0
7	Ветер статика X+	Неактивная (Н/а)			0,0	0,0
8	Ветер статика Y+	Неактивная (Н/а)			0,0	0,0
9	Ветер пульсация X+	Мгновенная (М)		1	1,4	0,0
10	Ветер пульсация Y+	Мгновенная (М)		1	1,4	0,0

Таблица 7. Параметры РСН.

№ загр.	Имя загрузки	Вид	Знакопер ем.	γ_f	РСН1	РСН2
1	Собственный вес стальных к-ций	Постоянная (П)	+	1,1	0	0
2	Вес к-ций покрытия и перекрытий	Постоянная (П)	+	1,2	0	0
3	Вес наружных ограждающих к-ций	Постоянная (П)	+	1,1	0	0
4	Снеговая нагрузка	Кратковр. (К)	+	1,4	0	0
5	Полезная на все пролеты	Кратковр. (К)	+	1,3	0	0
6	Модальный анализ	Неактивная (Н/а)	+	0,0	0	0
7	Ветер статика X+	Неактивная (Н/а)	+	0,0	0	0
8	Ветер статика Y+	Неактивная (Н/а)	+	0,0	0	0
9	Ветер пульсация X+	Мгновенная (М)	+	1,4	1	0
10	Ветер пульсация Y+	Мгновенная (М)	+	1,4	0	1

Таблица 8 . Усилия в колонне от форм собственных колебаний

№ формы колебаний	Усилия N в колонне «Б-2», кН	
	Загружение 9 (X+)	Загружение 10 (Y+)
1	-54,663	-0,002
2	0,4473	-1,103
3	0,0064	36,32
4	-4,441	0,00125
5	-0,0422	0,07708
6	-0,0088	-5,541
7	-0,157	0,00201

В обоих случаях расхождение результатов составило менее 1 %.

Выводы по результатам исследования

По результатам исследования был выполнен сбор нагрузок на каркас 17-ти этажного жилого зда-

ния, создана расчетная схема; проведен модальный анализ, определены частоты собственных колебаний для первых 25 форм; выявлены первые 7 форм собственных колебаний с частотой ниже предельной f_{lim} , которые необходимо учитывать при сборе пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки; вычислено теоретиче-

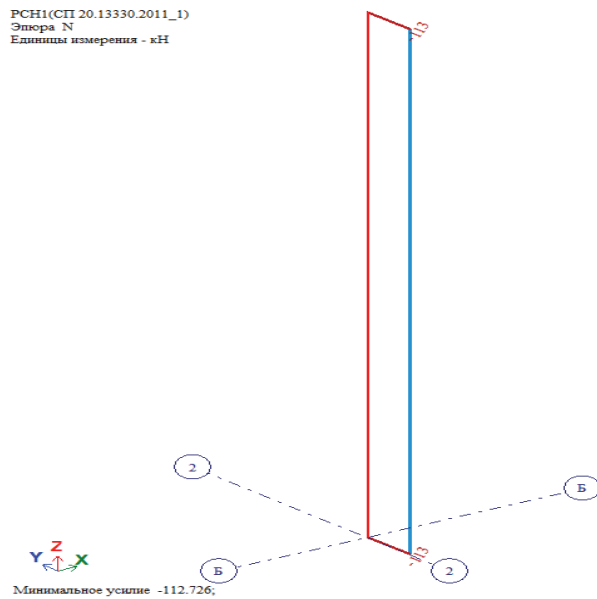


Рисунок 9. Усилие в колонне «Б-2» от РСН1.

ское значение пульсационной составляющей, и итоговое значение основной ветровой нагрузки, получены результаты расчета основной ветровой нагрузки в ПК Ли́ра-САПР 2016, определено расхождение результатов, составившее менее 1 %.

Доказана правильность учета пульсационной составляющей, количества форм, учитываемых при ее сборе, возможность применения автоматизированного сбора ветровой нагрузки в ПК Ли́ра САПР с высокой точностью и соответствием требованиям действующих норм.

Литература

1. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия = Loads and actions : свод правил : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 3 декабря 2016 г. №891/пр и введен в действие с 4 июня 2017 г. : дата введения 2017-06-04 / исполнители ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительства» при участии ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова». – Москва : ФГБУ «РСТ», 2022. – Текст : непосредственный.

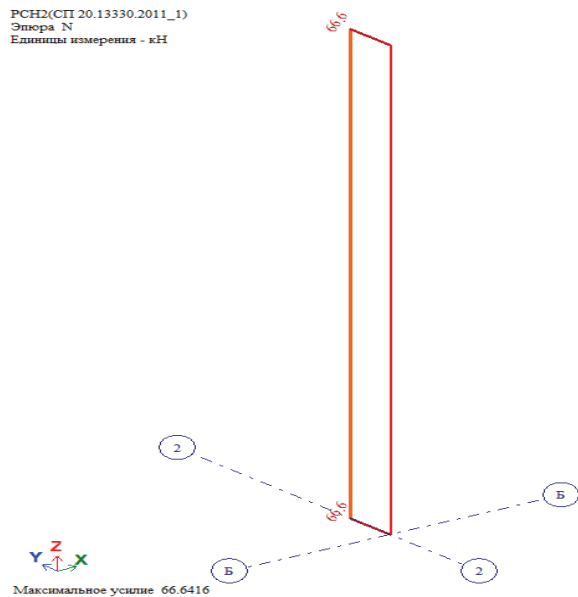


Рисунок 10. Усилие в колонне «Б-2» от РСН2.

Доказано, что для правильного учета основной ветровой нагрузки в РСН (расчетных сочетаниях нагрузок), необходимо в параметрах нагрузок (редактор загрузений) выполнять сбор пульсации в виде мгновенного нагружения, на основании неактивных ветровых статических нагрузок, с коэффициентом сочетаний $\psi = 0,0$. Так как ПК Ли́ра-САПР 2016 учитывает вместе с пульсационной составляющей – среднюю (статическую), на основании которой и происходил сбор динамического нагружения.

Reference

1. SP 20.13330.2016. Loads and actions. – Moscow : FGBU «RST», 2022. – Text : direct. (in Russian)
2. Savitskiy, G. A. Wind load on structures. – Moscow: Stroyizdat, 1972. – 111 p. – Text : direct. (in Russian)
3. Kravchenko, G. M.; Trufanova E. V., Dolzhenko A. V. Dynamic calculation of buildings for wind loads taking into account the pulsation component. – Text : direct. – In: *APRIORI. Series: Natural and technical sciences.* – 2013. – No. 1. – P. 1–7. – EDN: SAAVEB. (in Russian)

2. Савицкий, Г. А. Ветровая нагрузка на сооружения / Г. А. Савицкий. – Москва : Стройиздат, 1972. – 111 с. – Текст : непосредственный.
3. Кравченко, Г. М. Динамический расчет зданий на ветровые нагрузки с учетом пульсационной составляющей / Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, А. В. Долженко. – Текст : непосредственный // APRIORI. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – № 1. – С. 1–7. – EDN: SAAVEB.
4. Горнак, Д. С. Особенности определения ветровой нагрузки / Д. С. Горнак. – Текст : непосредственный // Вестник магистратуры. – 2019. – № 1–2(88). – С. 37–40.
5. Гувернюк, С. В. Метод экспресс-оценки интегральных ветровых нагрузок на высотное здание / С. В. Гувернюк, А. А. Синявин, В. Г. Гагарин. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2019. – № 6. – С. 43–48.
6. Гувернюк, С. В. Компьютерное моделирование аэродинамических воздействий на элементы ограждений высотных зданий / С. В. Гувернюк, В. Г. Гагарин. – Текст : непосредственный // АВОК. – 2006. – № 8. – С. 18–24.
7. Колесников, А. И. Методика расчета высотных зданий на воздействие ветровой нагрузки с использованием современных средств компьютерной инженерии / А. И. Колесников. – Текст : электронный // Молодой ученый. – 2020. – № 6(296). – С. 65–74. – URL: <https://moluch.ru/archive/296/67214/> (дата обращения: 25.02.2023).
8. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции = Steel structures : свод правил : Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 г. № 126/пр и введен в действие с 28 августа 2017 г. : актуализированная редакция СНиП II-23-81* (с Поправкой, с Изменениями N 1, 2) : дата введения 2017-08-28 / исполнители АО «НИЦ "Строительство"» – ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, МГСУ, СПбГАСУ. – Москва : Минстрой России, 2017. – 151 с. – Текст : непосредственный.
9. Долженко, А. В. Влияние учета пульсационной составляющей ветровой нагрузки на напряженно-деформированное состояние здания / А. В. Долженко, Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова ; ответственный редактор А. А. Сукиасян. – Текст : непосредственный // Фундаментальные проблемы технических наук : сборник статей Международной научно-практической конференции, Уфа, 19 февраля 2014 г. – Уфа : Башкирский государственный университет, 2014. – С. 45–52. – EDN: SCRHWX.
10. Кравченко, Г. М. Учет пульсационной составляющей ветровой нагрузки при расчете высотных зданий / Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, А. С. Гущина. – Текст : непосредственный // Проблемы эффективного использования научного потенциала общества : сборник статей Международной научно-практической конференции, Уфа, 18 июня 2017 г. В 2 частях, часть 2. – Уфа : Обще-
4. Gornak, D. S. Features of determining the wind load. – Text : direct. – In: *Vestnik magistratury*. – 2019. – No. 1-2 (88). – P. 37–40. (in Russian)
5. Guvernyuk, S. V.; Sinyavin, A. A.; Gagarin, V. G. Express assessment method of integral wind loads on a high-rise building. – Text : direct. – In: *Zhilishchnoe stroitelstvo*. – 2019. – No. 6. – P. 43–48. (in Russian)
6. Guvernyuk S. V.; Gagarin V. G. Computer modeling of aerodynamic influences on the elements of high-rise building fences. – Text : direct. – In: *AVOK*. – 2006. – No. 8. – P. 18–24. (in Russian)
7. Kolesnikov, A. I. Methods of calculating high-rise buildings on the impact of wind load using modern computer engineering tools. – Text : electronic. – In: *Molodoj uchenyj*. – 2020. – No. 6 (296). – P. 65–74. – URL: <https://moluch.ru/archive/296/67214/> (date of access: 25.02.2023). (in Russian)
8. SP 16.13330.2017. Steel structures. – Moscow: Minstroj Rossii, 2017. – 151 p. – Text : direct. (in Russian)
9. Dolzhenko, A. V.; Kravchenko, G. M.; Trufanova, E. V. Influence of taking into account the pulsating component of the wind load on the stress-strain state of the building ; executive editor A. A. Sukiasyan. – Text : direct. – In: *Fundamental problems of technical sciences* : collection of articles of the International Scientific and Practical Conference, Ufa, February 19, 2014. – Ufa : Bashkir State University, 2014. – P. 45–52. – EDN: SCRHWX. (in Russian)
10. Kravchenko, G. M.; Trufanova, E. V.; Gushchina, A. S. Accounting for the pulsation component of the wind load in the calculation of high-rise buildings. – Text : direct. – In: *Problems of the effective use of the scientific potential of society* : collection of articles of the International Scientific and Practical Conference, Ufa, June 18, 2017. In 2 parts, part 2. – Ufa: Limited Liability Company «OMEGA SCIENCE», 2017. – P. 39–43. – EDN: YSBJST. (in Russian)
11. Kravchenko, G. M.; Trufanova, E. V.; Kostenko D. S. [et al.]. Calculation of the wind load using the program "Wind pressure". – Text : direct. – In: *New University. Series: Engineering sciences*. – 2015. – No. 1-2 (35–36). – P. 123–129. (in Russian)
12. Turovsky, S. V. Influence of pulsating wind load on a frame building with a beamless ceiling. – Text : direct. – In: *Modern trends in the development of education, science and technology* : a collection of scientific papers based on the materials of the IX International Scientific and Practical Conference, Moscow, March 29, 2019 / edited by A. V. Tugolukov. – Moscow : Individual entrepreneur Tugolukov Alexander Valerievich, 2019. – P. 174–176. – EDN: ZBRFOP. (in Russian)
13. Perekotina, M. A. Determination of the pulsation component of the wind load. – Text : direct. – In: *Days of Science of students of Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai*

- ство с ограниченной ответственностью «ОМЕГА САЙНС», 2017. – С. 39–43. – EDN: YSBJST.
11. Расчет ветровой нагрузки по программе «Wind pressure» / Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, Д. С. Костенко [и др.]. – Текст : непосредственный // Новый университет. Серия: Технические науки. – 2015. – № 1–2 (35–36). – С. 123–129.
 12. Туровский, С. В. Влияние пульсационной ветровой нагрузки на каркасное здание с безригельным перекрытием / С. В. Туровский. – Текст : непосредственный // Современные тенденции развития образования, науки и технологий : сборник научных трудов по материалам IX международной научно-практической конференции, Москва, 29 марта 2019 г. / под общей редакцией А. В. Туголукова. – Москва : Индивидуальный предприниматель Туголуков Александр Валерьевич, 2019. – С. 174–176. – EDN: ZBRFOR.
 13. Перекотина, М. А. Определение пульсационной составляющей ветровой нагрузки / М. А. Перекотина. – Текст : непосредственный // Дни науки студентов Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых : сборник материалов научно-практических конференций, Владимир, 18 марта – 05 апреля 2019 г. – Владимир : Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, 2019. – С. 572–579. – EDN: DXTCUH.
 14. Иванов, С. Ю. Варианты моделирования пульсационной составляющей ветровой нагрузки при расчете на ветровое давление / С. Ю. Иванов, М. В. Клепов. – Текст : непосредственный // Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета : тезисы докладов, Волгоград, 19–22 мая 2020 г. / редколлегия: С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.]. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2020. – С. 393–394. – EDN: FMXRLN.
 15. Clough, Raymond. W. Dynamics of Structures / Raymond W. Clough, Joseph Penzien. – New York : McGraw-Hill, 1993. – 160 p. – Текст : непосредственный.
 16. Bath, K.-J. Finite Element Procedures / K.-J. Bath. – New Jersey : Prentice Hall, 1996. – 1052 p. – Текст : непосредственный.
 17. Моделирование пульсационной составляющей ветровой нагрузки на каркас здания по нескольким методикам расчета / Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, И. В. Кондрик [и др.]. – Текст : непосредственный // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 2(45). – 8 с. – С. 1–8. – EDN: ZEONSP.
 18. Варибрус, Д. С. Воздействие ветровой нагрузки на высотные здания и меры, уменьшающие ее воздействие / Д. С. Варибрус, А. С. Наконечная, В. А. Суликова. – Текст : непосредственный // Инновационная наука. – 2020. – № 12. – С. 174–176. – EDN: UPSJFE.
 - Grigorievich Stoletovs : collection of materials from scientific and practical conferences, Vladimir, March 18 – April 05, 2019. – Vladimir : Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs, 2019. – P. 572–579. – EDN: DXTCUH. (in Russian)
 14. Ivanov, S. Yu.; Klepov, M. V. Variants of modeling the pulsating component of the wind load when calculating the wind pressure. – Text : direct. – In: *Competition of research papers of students of the Volgograd State Technical University* : abstracts, Volgograd, May 19–22, 2020 / editorial board: S. V. Kuzmin (responsible ed.) [et al.]. – Volgograd : Volgograd State Technical University, 2020. – P. 393–394. – EDN: FMXRLN. (in Russian)
 15. Clough, Raymond. W.; Joseph Penzien. Dynamics of Structures. – New York : McGraw-Hill, 1993. – 160 p. – Text : direct. (in English)
 16. Bath, K.-J. Finite Element Procedures. – New Jersey : Prentice Hall, 1996. – 1052 p. – Text : direct. (in English)
 17. Kravchenko, G. M.; Trufanova, E. V.; Kondrik, I. V. [et al.]. Modeling of the pulsating component of the wind load on the building frame using several calculation methods. – Text : direct. – In: *Engineering Journal of Don*. – 2017. – No. 2 (45). – 8 p. – P. 1–8. – EDN: ZEONSP. (in Russian)
 18. Varibrus, D. S.; Nakonechnaya, A. S.; Sulikova, V. A. Effect of wind load on high-rise buildings and measures that reduce its impact. – Text : direct. – In: *Innovacionnaya nauka*. – 2020. – No. 12. – P. 174–176. – EDN: UPSJFE. (in Russian)
 19. Spiridonov, S. V., Klyuchnikova, O. N. Determination of the forms and frequencies of natural oscillations of high-rise buildings in the calculation of the pulsation component of the wind load. – Text : direct. – In: *Bulletin of KIGIT*. – 2012. – No. 3 (21). – P. 16–25. – EDN: PXPDP. (in Russian)
 20. Wind Towers – Detail in Building Academy Editions / Battle McCarthy Consulting Engineers. – New York : John Wiley and Sons Ltd, 1999. – 96 p. – Text : direct. (in English)

19. Спиридонов, С. В. Определение форм и частот собственных колебаний высотных зданий при расчете пульсационной составляющей ветровой нагрузки / С. В. Спиридонов, О. Н. Ключникова. – Текст : непосредственный // Вестник КИГИТ. – 2012. – № 3(21). – С. 16–25. – EDN: PXPDIР.
20. Wind Towers – Detail in Building Academy Editions / Battle McCarthy Consulting Engineers. – New York : John Wiley and Sons Ltd, 1999. – 96 p. – Текст : непосредственный.

Миронов Андрей Николаевич – кандидат технических наук; доцент кафедры металлических конструкций и сооружений ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: усталостная прочность металлических конструкций, концентрация напряжений в узлах ферм с применением широкополочных двутавров и гнутосварных замкнутых профилей, напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонных конструкций в том числе трубобетонных конструкций.

Парасюк Кирилл Витальевич – магистрант, ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: усталостная прочность металлических конструкций, концентрация напряжений в узлах ферм с применением широкополочных двутавров и гнутосварных замкнутых профилей, напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонных конструкций в том числе трубобетонных конструкций.

Миронов Андрій Миколайович – кандидат технічних наук; доцент кафедри металевих конструкцій ФДБО ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: втомлена міцність металевих конструкцій, концентрація напружень в вузлах ферм із застосуванням широкополочкових двотаврів та гнутозварних замкнених профілів, напружено-деформований стан сталезалізобетонних конструкцій, у тому числі трубобетонних конструкцій.

Парасюк Кирил Віталійович – магістрант, ФДБО ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: втомлена міцність металевих конструкцій, концентрація напружень в вузлах ферм із застосуванням широкополочкових двотаврів та гнутозварних замкнених профілів, напружено-деформований стан сталезалізобетонних конструкцій, у тому числі трубобетонних конструкцій.

Mironov Andrey – Ph. D.(Eng.), Associate Professor of the Department of Metal Constructions and Structures, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: fatigue strength of metal structures, concentration of stresses in the nodes of trusses with the use of wide-band I-bars and gnutosvarnyh closed profiles, stress-strain state of steel reinforced concrete structures including pipe-concrete structures.

Parasyuk Kirill – master's student. FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: fatigue strength of metal structures, concentration of stresses in the nodes of trusses with the use of wide-band I-bars and gnutosvarnyh closed profiles, stress-strain state of steel reinforced concrete structures including pipe-concrete structures.