

ЛЮБОВЬ ФЕДОРОВНА СЕЛЮТИНА

кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры, строительных конструкций и геотехники строительного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
selutinalf@mail.ru

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ*

Рассмотрены здания многофункционального назначения высотой 13–23 этажа. Исследованы 6 моделей зданий в программном комплексе «Мономах». Модели зданий имеют сложную форму в плане, перепады по высоте, различные конструктивные системы, вертикальные временные нагрузки: полной величины и пониженного значения. Изучено влияние на перемещения верха здания: шага вертикальных несущих конструкций, расхода материалов, величины временных нагрузок, угла атаки ветра. По результатам моделирования установлено, что перемещения верха здания зависят в большей степени от шага несущих конструкций, в меньшей степени – от величины временной нагрузки. На перемещения верха здания влияет угол атаки ветра. При угле атаки ветра 135° перемещения максимальные. Для всех высот здания статическая составляющая больше пульсационной составляющей ветровой нагрузки.

Ключевые слова: метод конечных элементов, статическая составляющая, пульсационная составляющая ветровой нагрузки

Строительство многоэтажных зданий в Карелии и других регионах развивается по пути усложнения объемно-планировочных решений на основе комбинированных конструктивных систем с нерегулярной структурой по высоте, использования легких долговечных материалов для ограждающих конструкций. Вариантное проектирование в программных средах рассматривается специалистами как одно из главных направлений в создании эффективных конструктивных систем многоэтажных зданий [1], [2], [5].

Цель исследования – изучение возможностей применения компьютерных программ при вариантном проектировании многоэтажных зданий минимальной материалоемкости.

Метод исследования. Исследование выполнено в программном комплексе «Мономах 4.5». С помощью программы «Компоновка» реализован сбор и расчет конечно-элементных моделей. Варьируемыми параметрами являлись: тип несущих конструкций и их шаг, высота здания, величина и направление нагрузок.

Нагрузки. Вертикальные нагрузки рассмотрены для двух вариантов: при полной величине временной нагрузки и ее пониженном значении [3]. Направление ветровой нагрузки рассмотрено при угле атаки 90° (ветер 1) и при угле атаки 135° (ветер 2) [3].

Характеристика несущих конструкций зданий. Несущие вертикальные и горизонтальные конструкции запроектированы из монолитного бетона. Толщина стен цокольного этажа 400 мм, толщина стен вышележащих этажей 250 мм. Же-

лезобетонные плиты междуэтажных перекрытий и покрытия толщиной 160 мм. Рассмотрены шесть моделей компоновки несущих стен.

Характеристика наружных стен. Наружные стены двух типов: из монолитного железобетона и из газобетонных блоков, использована система вентилируемого фасада. Теплоизоляция: плиты ROCKWOOL марки ЛАЙТ БАТТС толщиной 130 мм и плиты ВЕНТИ БАТТС D толщиной 100 мм [4]. Наружная отделка стен плитами КраспанКолор и профилированными листами; отделка цокольной части запроектирована камнями «Меликонполар» толщиной 120 мм, утеплитель – «Техноплекс» марки 35 толщиной 120 мм.

Характеристики моделей здания. Исследованы шесть моделей здания (рис. 1). Модель здания № 1 постоянной высоты, модели № 2–6 имеют перепады по высоте. На 1–3-м этажах размещены помещения торгового и социального назначений, поэтому для этой части здания размеры в плане и высота этажей, а также временные нагрузки больше, чем на верхних (жилых) этажах [7].

Характеристики моделей (рис. 1) представлены в таблице.

В модель здания № 1 включены 6 вариантов, которые отличаются: шагом несущих конструкций (варианты 1, 2, 3, 4 – шаг несущих конструкций 3,55 м; варианты 5, 6 – шаг несущих конструкций 7,1–7,325 м) и величиной нагрузок (варианты 1, 2, 5 – полные значения вертикальной временной нагрузки; варианты 3, 4, 6 – пониженные значения [7]).

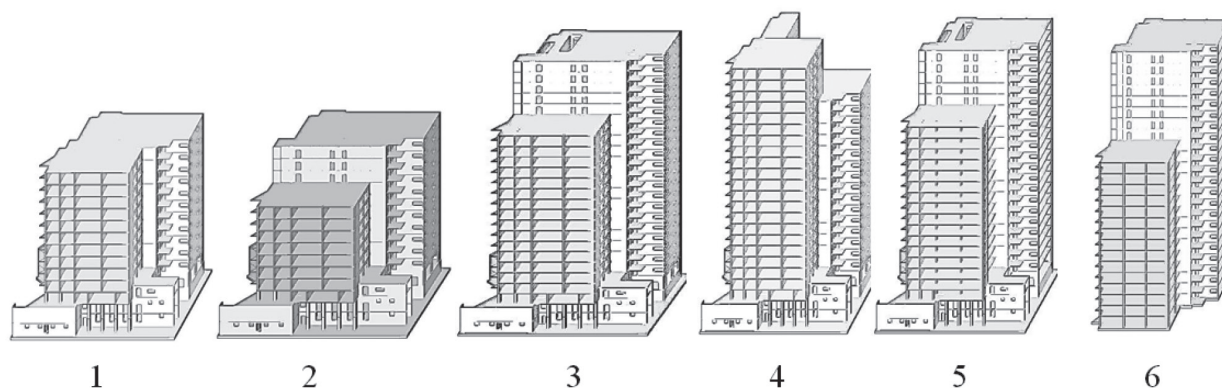


Рис. 1. Модели зданий

Общие характеристики моделей здания

№ модели здания	Высота, м	Перепад по высоте (отметка), м	Размеры, м		
			Нижняя часть (1–3-й этажи)	Средняя часть (от 3-го этажа до перепада)	Верхняя часть
1	38,02	нет	43,23 x 20,53	32,64 x 20,53 (с 3-го до верхнего этажа)	–
2	38,02	29,02	43,23 x 20,53	32,64 x 20,53	32,64 x 12,055
3	68,02	53,02	43,23 x 20,53	32,64 x 20,53	32,64 x 12,055
4	68,02	53,02	43,23 x 20,53	32,64 x 20,53	21,765 x 20,53
5	68,02	47,02	43,23 x 20,53	32,64 x 20,53	32,64 x 12,055
6	68,02	47,02	32,64 x 21,73	32,64 x 20,53	32,64 x 12,055

Характер изменения пульсационной составляющей по высоте здания. Результаты исследования изменения пульсационной составляющей по высоте здания представлены на рис. 2 для двух моделей с одинаковыми поэтажными планами, но различной высоты: модель здания № 2 высотой 38,02 м, модель здания № 3 высотой 68,02 м.

Анализ выполнен на основании результатов расчета в программе «Компоновка» для ветровой нагрузки, приведенной в узлы здания. Линия пульсационной составляющей на верхнем этаже

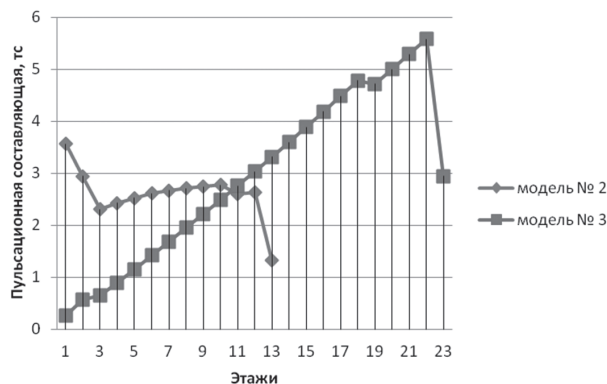


Рис. 2. Характер изменения пульсационной составляющей по высоте здания

уходит резко вниз (рис. 2). Это связано с тем, что, в отличие от всех предыдущих этажей, высота грузовой площади на верхнем в два раза меньше (равна половине высоты этажа). Прогибы линии пульсационной составляющей ветровой нагрузки объясняются разной высотой этажей зданий: высота цокольного этажа – 3,27 м, высота первого этажа – 4,0 м, остальных этажей – 3 м.

Значения пульсационной составляющей при направлении «ветер 1» больше, чем при направлении «ветер 2». Во внимание принимались верхние, наиболее значительные величины пульсационной составляющей.

Влияние жесткости несущих вертикальных конструкций

Значения перемещений взяты по модулю. Для модели здания № 1 максимальные перемещения по оси X получены в варианте 2 – 0,0095 м, максимальные перемещения по оси Y в варианте 5 – 0,021 м.

Ветровое нагружение было принято одинаковым для всех моделей. С помощью программы «Компоновка» заданы два направления ветра: ветер 1, действующий под углом 90°, ветер 2 – 135° [5]. Ветровой район – II, тип местности – А.

Модель № 1

Перемещения верха здания (варианты 1–6) по оси Y больше, чем по оси X, на 45,24 %, что

связано с большой жесткостью здания в направлении оси X (шаг поперечных стен составляет 3,55 м).

Ось X направлена вдоль буквенных осей зданий, ось Y – вдоль цифровых осей зданий.

Из всех вариантов расчета модели № 1 варианты с максимальными значениями перемещений по оси X – вариант № 2 и по оси Y – вариант № 5.

Перемещения по оси X: модель № 1 – 0,0095 м; модель № 2 – 0,0087 м; модель № 3 – 0,048 м; модель № 4 – 0,051 м; модель № 5 – 0,064 м; модель № 6 – 0,11 м.

Перемещения по оси Y: модель № 1 – 0,021 м; модель № 2 – 0,027 м; модель № 3 – 0,12 м; модель № 4 – 0,14 м; модель № 5 – 0,2 м; модель № 6 – 0,64 м.

Перемещения верха здания (варианты 1–6) по оси Y больше, чем по оси X, так как жесткость вертикальных конструкций здания в направлении оси X больше, чем в направлении оси Y.

Исследования показали, что на перемещения значительное влияние оказывает высота здания и площадь этажа (то есть жесткость несущих конструкций). Рассмотрим это на примере моделей № 1 и 6.

Высота модели № 6 составляет 68,02 м, что в 1,789 раза больше высоты модели № 1. Перемещения верха здания модели № 6 больше перемещения модели № 1 в 23,704 раза. Это объясняется влиянием пульсационной составляющей ветровой нагрузки, а также размерами зданий в плане: модель № 1 – 43,23 x 20,58 м; модель № 6 – 32,6 x 21,78 м.

Нормативным требованиям (см. табл. Е. 4 [6]) отвечают модели здания № 1, 2 и 3. Модели № 4, 5 и 6 не отвечают нормативным и конструктивным требованиям: обеспечения целостности заполнения каркаса стенами, перегородками, оконными проемами и дверными элементами. Жесткость моделей № 4, 5 и 6 не обеспечена. Перемещения по оси Y для моделей больше, чем по оси X, несущих конструкций в этом направлении недостаточно.

Влияние расхода материалов на перемещение верха здания

Рассмотрим модели здания № 1 и 6. Модель № 1 – высота здания 38,02 м, без перепада по высоте. Модель № 6 – высота здания 68,02 м, перепад на отметке 44,02 м.

Максимальные перемещения при минимальном расходе бетона получены при расчете модели № 6.

Перемещения верха здания зависят от того, насколько рационально распределены бетон и арматура в конструкциях здания. Модель № 1 – шаг несущих конструкций составляет 3,55 м. Модель № 6 – шаг вертикальных несущих конструкций в среднем 7,1 м. Расход бетона модели № 6 (2993,72 куб. м) меньше, чем

модели № 1 (3267,35), в 0,916 раза. Расход арматуры для модели № 6 больше, чем для модели № 1, в 1,668 раза ($2993,72 / 3267,35 = 1,668$). Перемещения модели № 6 больше, чем модели № 1, в 23,704 раза.

Соотношение статической и пульсационной составляющих ветровой нагрузки

1. *Модель здания № 1.* На рис. 3 представлены графики изменения статической и пульсационной составляющих ветровой нагрузки.

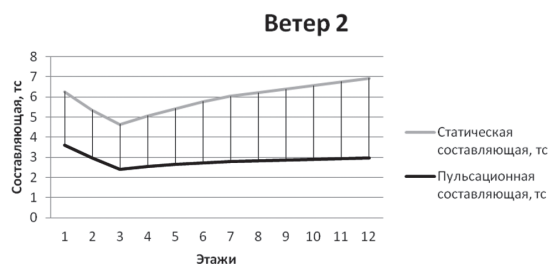


Рис. 3. Соотношение статической и пульсационной составляющих ветровой нагрузки для модели № 1

На цокольном этаже статическая составляющая превышает пульсационную в 1,72–1,73 раза. С ростом по высоте эта разница увеличивается до 2,3–2,37 раза.

2. *Модель здания № 6*

На цокольном этаже статическая составляющая превышает пульсационную в 21,59–25,72 раза (рис. 4). На других этажах соотношение уменьшается в 1,09–1,308 раза. Прогиб линий статической и пульсационной составляющих ветровой нагрузки появляется при уменьшении площади здания (перепад высоты на отметке 44,02 м, а следовательно, и уменьшение площади этажа на этой отметке в 1,703 раза).

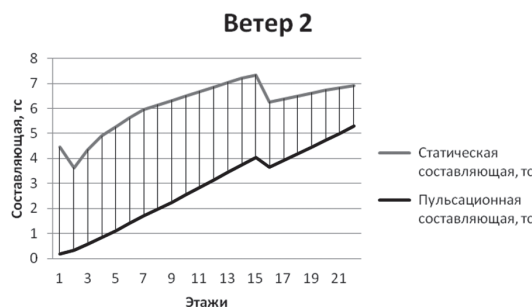


Рис. 4. Соотношение статической и пульсационной составляющих ветровой нагрузки для модели № 6

Таким образом, для всех рассмотренных моделей здания обе составляющие ветровой нагрузки больше для направления «Ветер 2».

Результаты исследования показали, что пульсационная составляющая ветровой нагрузки по высоте здания изменяется по линейному закону.

На перемещения верха здания значительное влияние оказывает шаг несущих вертикальных конструкций, величина временной вертикальной нагрузки – в меньшей степени.

Перемещения верха здания во всех случаях больше в направлении меньшей изгибной жесткости.

Горизонтальные перемещения верхних точек здания достигают наибольших по модулю значений при угле атаки ветровой нагрузки 135°.

Статическая составляющая ветровой нагрузки больше пульсационной для всех исследованных моделей.

Приемлемыми по критерию материалоемкости и жесткости являются модели № 1, 2, 3.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алевдин П. В., Мордич А. И., Симбиркин В. Н. Особенности работы несущих каркасов зданий при действии вертикальных и горизонтальных нагрузок // Белорусский конгресс по теоретической и прикладной механике «Механика-99». Минск: БелНИИС, 1999. 204 с.
2. Городецкий А. С., Батрак Л. Г. и др. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона: проблемы, опыт, возможные решения и рекомендации, компьютерные модели, информационные технологии. Киев: Факт, 2004. 106 с.
3. Дроздов П. Ф. Конструирование и расчет несущих систем многоэтажных зданий и их элементов: Учеб. пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1977. 223 с.
4. Каталог строительной изоляции ROCKWOOL [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://guide.rockwool/media/121116/building_preview_16.11.12
5. Перельмутер А. В., Сливкер В. И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. Киев: Сталь, 2012. 600 с.
6. Пособие по проектированию жилых зданий / ЦНИИЭП жилища Госпромархитектуры. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01–85). М.: Стройиздат, 1989. 304 с.
7. СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*» / Министерство регионального развития Российской Федерации. М.: ОАО ЦПП, 2011. 71 с.

Selyutina L. F., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

COMPUTER SIMULATION OF MULTISTORY BUILDINGS WITH ALLOWANCE FOR WIND IMPACT

The article is concerned with the problem of multi-purpose high-rise buildings of 13–23 floors. Six models of the high-rise buildings were studied with the help of the software package “Monomakh”. The models of the multistory buildings have a complex shape, height discontinuity, various structural systems. Vertical temporary loads are of full size and of low value. The influences on the movement of the top of the buildings are studied. They depend upon the strength of the vertical load-bearing structures, material consumption, and the angle of the wind attacks. Displacement of the top of the building depends to a greater degree upon its bearing structures and to a lesser extent upon the temporary load value. The angle of the wind attacks influences displacement of the top of the building. The displacement is maximal when the angle of wind attack equals 135 degrees. For all heights of the building the static constituent is bigger than the pulsating component of the wind load.

Key words: method of finite elements, static component, pulsation component of the wind load

REFERENCES

1. Alevdin P. V., Mordich A. I., Simbirkin V. N. Osobennosti raboty nesushchikh karkasov zdaniy pri deystvii vertikal'nykh i gorizonta'nykh nagruzok [Features of the building base plates under the action of vertical and horizontal loads]. *Belorusskiy kongress po teoreticheskoy i prikladnoy mekhanike “Mekhanika-99”* [Belarusian Congress of Theoretical and Applied Mechanics “Mechanics-99”]. Minsk: BelNIIS Publ., 1999. 204 p.
2. Gorodetskiy A. S., Batrak L. G., etc. *Raschet i projektirovanie konstruktsiy vysootnykh zdaniy iz monolitnogo zhelezobetona: problemy, opyt, vozmozhnye resheniya i rekomendatsii, komp'yuternye modeli, informatsionnye tekhnologii* [Calculation and design of high-rise buildings of reinforced concrete: challenges, experiences and possible solutions and recommendations, computer models, information technology]. Kiev, Fakt Publ., 2004. 106 p.
3. Drozdov P. F. *Konstruirovaniye i raschet nesushchikh sistem mnogoetazhnykh zdaniy i ikh elementov* [Design and calculation of load-bearing systems of multi-story buildings and their elements]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1977. 223 p.
4. *Catalog stroitel'noy izolyatsii ROCKWOOL* [Catalogue of building isolation ROCKWOOL]. Available at: http://guide.rockwool/media/121116/building_preview_16.11.12
5. Perel'muter A. V., Slivker V. I. *Raschetnye modeli sooruzheniy i vozmozhnost' ikh analiza* [Computational models structures and the possibility of their analysis]. Kiev, Stal' Publ., 2012. 600 p.
6. *Posobie po projektirovaniyu zhilykh zdaniy* [Manual on residential buildings design]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1989. 304 p.
7. *SP 20.13330.2011 “Nagruzki i vozdeystviya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07–85*”* [Code of Regulations – “Loads and effects. Updated edition of 2.01.07–85”]. Moscow, OAO TSPP Publ., 2011. 71 p.

Поступила в редакцию 07.08.2013