

Исследования вертикальных перемещений высотного здания при различных вариантах приложения ветровой нагрузки на элементы каркаса

А.А. Клюкин, Н.В. Линьков

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Аннотация: В статье предоставлены результаты расчета высотного здания, в несущем каркасе которого применены деревянные конструкции. При значительной высоте сооружения, большое влияние на деформативность каркаса начинает оказывать ветровая нагрузка. Предложена расчетная схема, в которой рассмотрены два варианта приложения ветрового давления – на колонны и в ригели перекрытий.

Ключевые слова: высотное здание, постоянные нагрузки, кратковременные нагрузки, мгновенные нагрузки, модуль упругости, жесткость, напряжение, перемещение, САПР.

Введение

Среди строительных материалов древесина является естественным полимером, состоит из клеток волокон, которые имеют трубчатую форму и направленных вдоль древесного ствола [1-3]. Основными достоинствами древесины, делающими её абсолютно конкурентноспособным строительным материалом, являются: прочность, особенно в направлении вдоль волокон; долговечность, при соблюдении конструктивных и химических мер защиты; стойкость к воздействию химически-агрессивной среды; стойкость к динамическим и вибрационным воздействиям; природная декоративность и простота обработки; самовозобновление ресурса [4-5]. На сегодняшний день на рынке жилищного строительства возникла потребность в развитии направления проектирования зданий с применением деревянных конструкций в составе несущего каркаса [6].

Цель работы – предложить конструктивную схему здания, в состав несущих конструкций которого будут входить деревянные конструкции. Необходимо выполнить расчет модели сооружения, рассмотрев влияние воздействия ветрового давления на перемещения узлов несущего каркаса. В

модели следует предусмотреть возможность различного приложения ветрового воздействия [7].

Общие данные расчетной модели

За основу принята модель здания с железобетонным ядром жесткости и системой ригелей и колонн, выполняемых из древесины [8]. Основные конструктивные параметры сооружения представлены в таблице 1. Место строительства соответствует Москве и Московской области – III снеговой и I ветровой районы.

Таблица 1

Общие характеристики сооружения

Параметр	Условное обозначение	Значение	Ед.изм.
1	2	3	4
Длина здания	L_{bld}	27	м
Ширина здания	B_{bld}	27	м
Высота этажа	H_{fl}	4	м
Количество этажей	N_{fl}	8	шт.
Шаг колонн	B_{clmn}	4,5	м
Пролет ригелей	L_{bm}	4,5	м

В расчетной схеме деревянные элементы каркаса замоделированы типом конечного элемента №10 – универсальный пространственный конечный элемент [9]. Размеры колонн составляют $b \times h = 400 \times 400$ мм. Размер ригелей составил $b \times h = 200 \times 400$ мм. В качестве жесткостных характеристик задан модуль упругости $E = 10000$ МПа, объемный вес принят 500 кг/м³. Общий вид расчетной схемы с цветовой индикацией назначенных жесткостей представлен на рисунке 1.

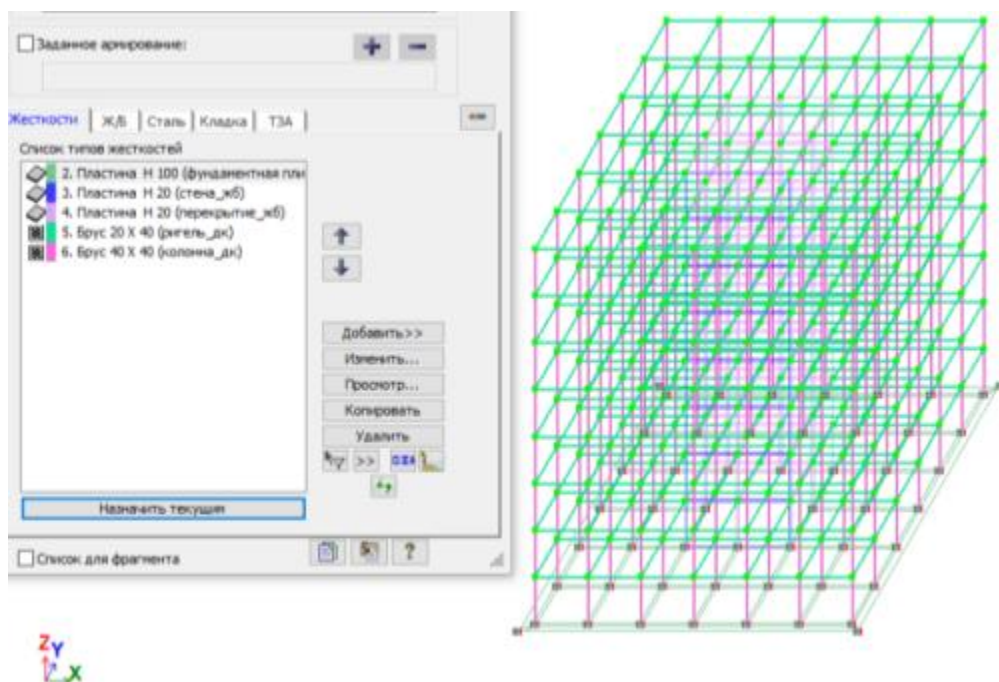


Рис.1. Общий вид расчетной схемы с цветовой индикацией назначенных жесткостей

Всего было сформировано 8 загрузений: 4 постоянных, 2 кратковременных и 2 мгновенных ветровых – в предположении действия ветра на колонны каркаса и в ригели перекрытий и покрытия [10]. Общий вид таблицы загрузений показан на рисунке 2.

#	Имя загрузки	Вид	Тип
1	собственный вес_дк...	Постоянное (P)	
2	собственный вес_жб...	Постоянное (P)	
3	перекрытие	Постоянное (P)	
4	покрытие	Постоянное (P)	
5	нагрузка по СП_1.3_	Кратк. доминир.1 ...	
6	снеговая нагрузка_1....	Кратк. доминир.2 ...	
7	ветер_X+_колонны	Мгновенное (M)	
8	ветер_X+_перекрытия	Мгновенное (M)	

Рис.2. Общий вид списка загрузений, приложенных к элементам в расчетной схеме

Данные сбора нагрузок на ригели:

- Расчетная нагрузка на ригели от конструкции перекрытий $q_p=2,13\text{кН}\backslash\text{м}^2*4,5\text{м}=9,6\text{кН}\backslash\text{м}$.
- Расчетная нагрузка на ригели от конструкции покрытий $q_p=2,8\text{кН}\backslash\text{м}^2*4,5\text{м}=12,6\text{кН}\backslash\text{м}$.
- Расчетная нагрузка на ригели в покрытии от веса снегового давления $q_p=2,1\text{кН}\backslash\text{м}^2*4,5\text{м}=9,5\text{кН}\backslash\text{м}$.

Ветровая нагрузка определялась с учетом ширины грузовой площади колонн и ригелей для I ветрового района – $0,23\text{кН}\backslash\text{м}^2$. Тип местности В – городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м. Значения ветровой нагрузки вычислялись на высоту здания 32 м. Значения ветровой нагрузки вычислялись для наветренной и подветренной сторон. Величина ширины грузовой площади для рядовых колонн составил 4,5 м, для торцевых 2,25 м. Величина грузовой площади для ригелей перекрытий составила 4 м. Шаг сканирования величины ветрового давления составил 1 м. Общий вид вычисленных значений ветрового давления на наветренную и подветренные стороны представлен на рисунках 3 и 4. В расчетной схеме предполагается действие ветровой нагрузки вдоль положительного направления оси X. В указаниях программы уточняется, что положительное действие нагрузки противоположно положительному направлению вектора оси X глобальной системы координат, что требует вводить значения ветровых нагрузок со знаком минус. Общий вид расчетной схемы с приложенными ветровыми нагрузками на колонны сооружения и в ригели перекрытий представлен на рисунках 5 и 6.

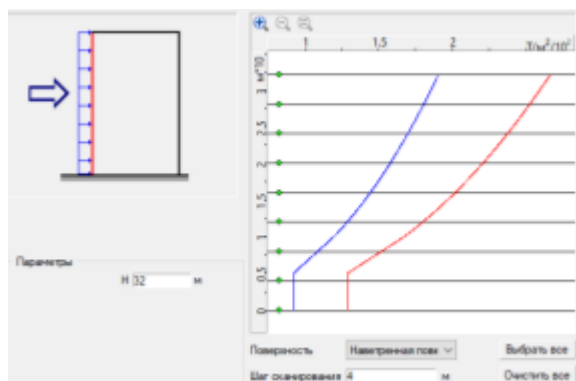


Рис. 3. Ветровая нагрузка. Наветренная сторона

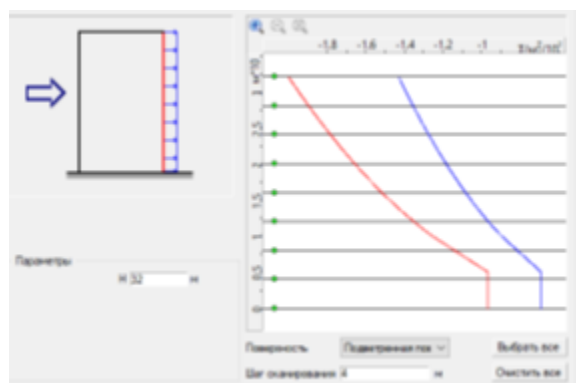


Рис. 4. Ветровая нагрузка. Подветренная сторона

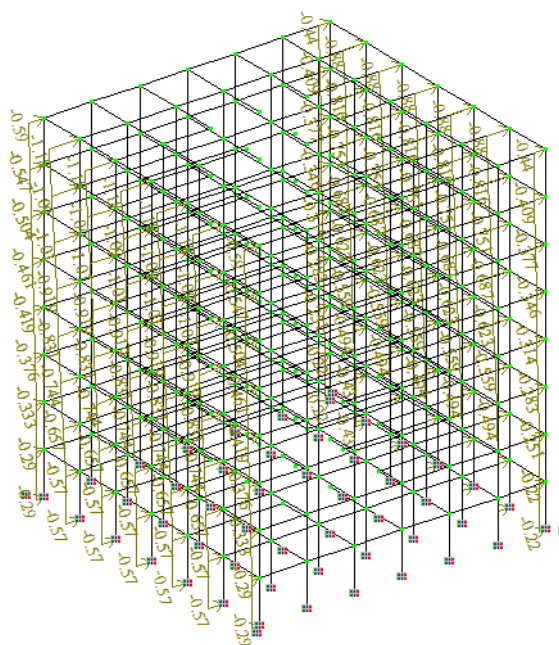


Рис. 5. Загружение 7. Ветер приложен к колоннам

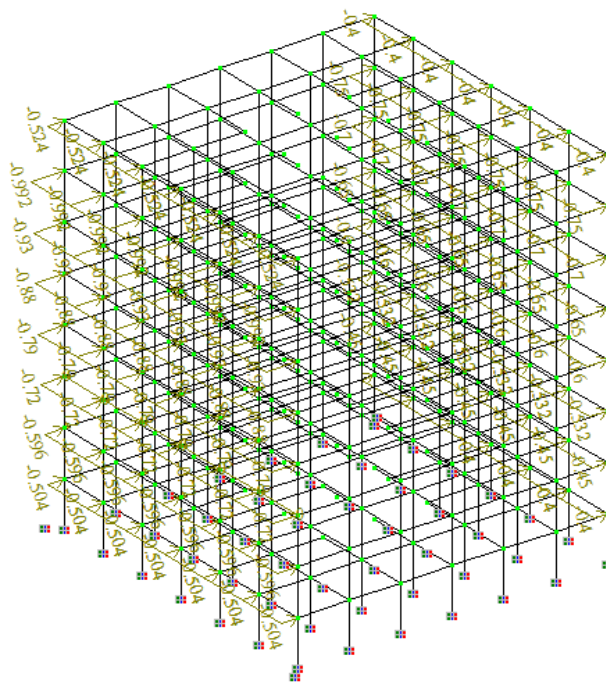


Рис. 6. Загрузка 8. Ветер приложен к ригелям

Для оценки перемещений узлов каркаса было сформировано два пользовательских сочетания. В первое сочетание входят совместное действие постоянных, временных нагрузок и мгновенной ветровой нагрузки на колонны. Второе сочетание содержит сочетание постоянных, временных нагрузок и мгновенной ветровой нагрузки на ригели. Общий вид расчетных сочетаний нагрузок представлен на рисунке 7.

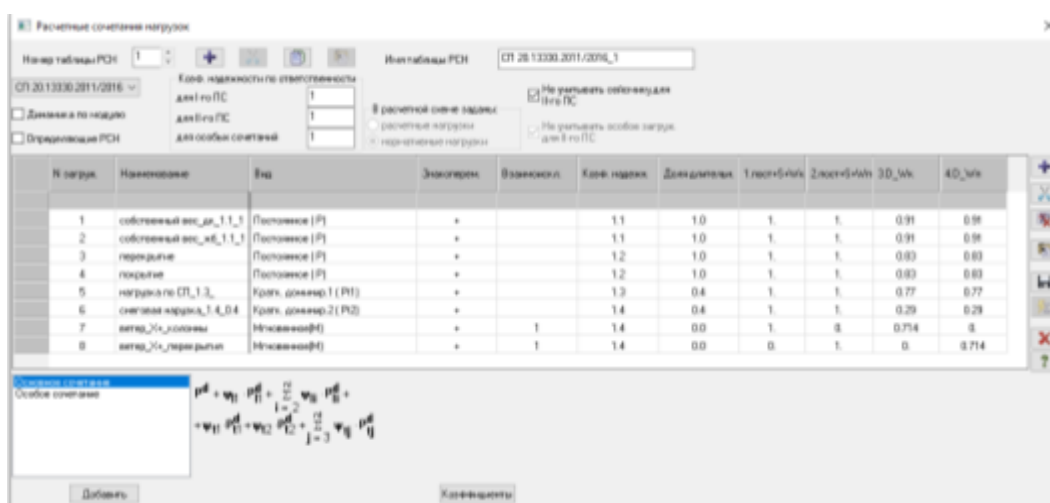


Рис. 7. Пользовательские РСН для оценки перемещений

Результаты

По результатам расчета получены значения максимальных перемещений узлов несущего каркаса от ветрового воздействия в предположении различного приложения ветрового давления. Мозаика перемещений узлов каркаса представлены на рисунках 8, 9.

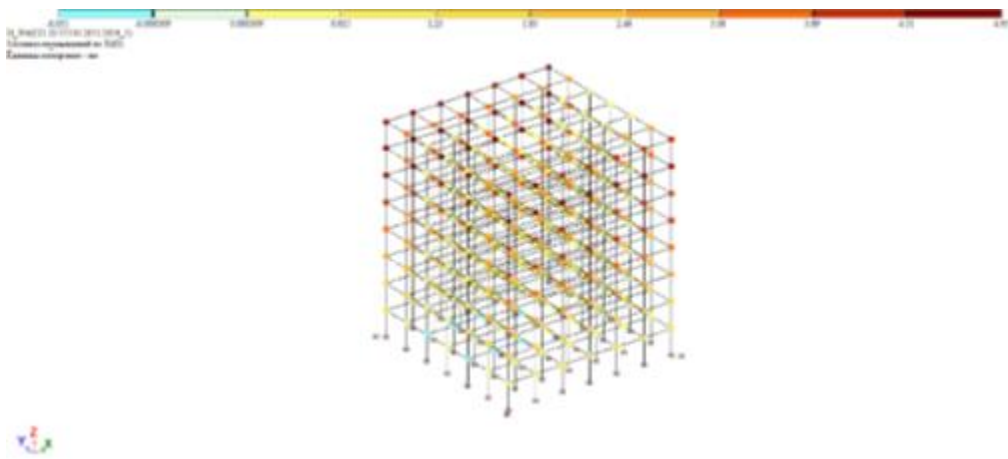


Рис. 8. Мозаика перемещений от сочетания $D_{W_{\text{кол}}}^X$

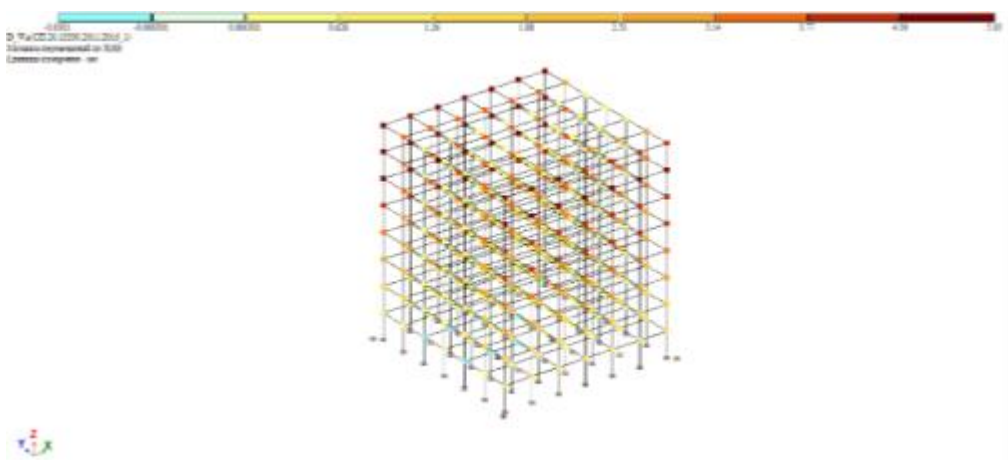


Рис. 9. Мозаика перемещений от сочетания $D_{W_{\text{пер}}}^X$

Предельно-допустимую величину перемещений определяем из условия $D_{\text{ULT}}^X = S/500 = 8$ мм. Сравнение полученных результатов между собой, а также с допустимым нормами значением в $1/500$ от высоты этажа сооружения, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчета

Параметр	Условное обозначение	Значение	Ед.изм.
Горизонтальные перемещения при ветре в колонны	$D_{W\text{ кол}}^X$	4,93	мм
Горизонтальные перемещения при ветре в ригели	$D_{W\text{ пер}}^X$	5,03	мм
Предельно-допустимое значение	D_{ULT}^X	8	мм
Разница между расчетными значениями	$D_{W\text{ пер}}^X / D_{W\text{ кол}}^X$	1,02	-
Разница между расчетным и предельным значениями	$D_{W\text{ пер}}^X / D_{ULT}^X$	0,62	-
Разница между расчетным и предельным значениями	$D_{W\text{ кол}}^X / D_{ULT}^X$	0,63	-

Сравнение результатов расчета показывает, что:

1. Величина горизонтального перемещения в случае приложения ветрового воздействия в колонны составляет 4,93 мм.
2. Величина горизонтального перемещения в случае приложения ветрового воздействия в ригели составляет 5,03 мм.

3. Разница между изгибающими моментами $D_{W_{пер}}^X / D_{W_{кол}}^X$ составила 1,02 раза.
4. Величина предельно-допустимого перемещения D_{ULT}^X составляет $(1/500) Hfl=8$ мм.
5. Разница между расчетным и предельным значениями перемещений $D_{W_{пер}}^X / D_{W_{ULT}}^X$ составляет 0,62.
6. Разница между расчетным и предельным значениями перемещений $D_{W_{кол}}^X / D_{ULT}^X$ составляет 0,63.
7. Величина расчетного перемещения в обоих вариантах приложения ветровой нагрузки не превышает установленных нормами предельных значений.

Выводы

1. Выполнен расчет высотного здания, в несущий каркас которого входят железобетонное ядро жесткости и система деревянных колонн и ригелей.
2. В случае приложения ветрового давления в колонны максимальное перемещение составляет $D_{W_{кол}}^X=4,93$ мм.
3. В случае приложения ветрового давления в колонны максимальное перемещение составляет $D_{W_{пер}}^X=5,03$ мм.
4. В обоих расчетных случаях значения перемещений не превышает предельно-допустимого значения установленного нормами $D_{ULT}^X=S/500=8$ мм.
5. Разница в перемещениях при различном приложении ветрового давления составляет 0,1 мм.
6. Процент использования по 2-й группе предельных состояний от нормативных значений нагрузок для узлов каркаса составляет 63%, а коэффициент запаса жесткости составляет 0,37.

Литература

1. Найчук А.Я. Прочность элементов деревянных конструкций в условиях сложного неоднородного напряженного состояния. Москва: ЦНИИПромздания, 2006. 378с.
2. Лабудин Б.В. Совершенствование деревянных клееных конструкций с пространственно-регулярной структурой. Архангельск: АГТУ, 2006. 310с.
3. Попов А.Ф. Деревянные клееные конструкции в конце XX века и пути их дальнейшего развития. Деревообрабатывающая промышленность. №6, 2000. 24-29с.
4. Василькин А.А., Рахмонов Э.К. Системотехника оптимального проектирования элементов строительных конструкций. Инженерный вестник Дона. 2013, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2203
5. Найчук А.Я. Клееная древесина – строительный материал будущего. Архитектура и строительство. 2009. №3. URL: ais.by/story/1942
6. Воронкова Г.В., Габова В.В. Исследование динамических характеристик несущих ферм при выносе вентиляционного оборудования на кровлю цеха. Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5613.
7. Стяпин Р.А. Унификация изгибаемых клееных деревянных конструкций по принципу подобия. Инженерный вестник Дона. 2013. №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1608
8. Ковальчук Л.М., Пьянов А.Н. Необходимость перехода на создание клееных деревянных конструкций из унифицированных элементов. Деревообрабатывающая промышленность. 2008 - №6, 19-20с.

9. Городецкий А.С., Барабаш М.С., Сидоров В.Н. Компьютерное моделирование в задачах строительной механики. Москва. АСВ. 2016. 338с.
10. Смоленский С.С., Батин Н.В. Оптимизация решений на основе методов и моделей математического программирования. Учебное пособие, Минск 2003. 136с.

References

1. Naychuk A.YA. Prochnost' elementov derevyannykh konstruktsiy v usloviyakh slozhnogo neodnorodnogo napryazhennogo sostoyaniya [Strength of wooden structural elements under conditions of complex non-uniform stress state]. Moskva: TSNIIPromzdaniya, 2006. 378p.
2. Labudin B.V. Sovershenstvovaniye derevyannykh kleyenykh konstruktsiy s prostranstvenno-regulyarnoy strukturoy. [Improving laminated wood structures with a spatially regular structure]. Arkhangelsk: AGTU, 2006. 310p.
3. Popov A.F. Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'. №6, 2000. pp.24-29.
4. Vasil'kin A.A., Rakhmonov E.K. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2203
5. Naychuk A.YA. Kleyenaya drevesina – stroitel'nyy material budushchego. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2009. №3. URL: ais.by/story/1942.
6. Voronkova G.V., Gabova V.V., Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5613.
7. Styapin R.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1608
8. Koval'chuk L.M., P'yanov A.N. Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'. 2008. №6. pp.19-20.



9. Gorodetsky A.S., Barabash M.S., Sidorov V.N. Komp`yuternoe modelirovanie v zadachax stroitel`noj mexaniki. [Computer modeling in problems of structural mechanics]. Moskva. ASV. 2016. 338p.
10. Smolenskiy S.S., Batin N.V. Optimizatsiya resheniy na osnove metodov i modeley matematicheskogo programmirovaniya. [Optimization of solutions based on methods and models of mathematical programming]. Minsk. 2003. 136p.

Дата поступления: 30.03.2024

Дата публикации: 12.05.2024