

Климатические параметры и их влияние на энергоэффективность высотных зданий в г. Москве

А.В. Цева¹, Б.И. Гиясов²

¹ООО «Проектное бюро АПЕКС»

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Аннотация. В современном строительстве задача повышения энергоэффективности зданий городского типа приобретает все большую актуальность, поскольку урбанизация повышает объемы энергопотребления. При решении вопросов энергоэкономичности зданий городского типа необходимо учитывать такие факторы, как место расположения объекта, ориентация по сторонам света, функциональное назначение, объемно-пространственные и инженерные решения для сохранения энергии, уменьшения теплопотерь и создания комфортных условий внутри зданий и на придомовой территории. Частично эти задачи можно решить за счет оптимизации геометрических, технических, в том числе и теплотехнических параметров ограждающих конструкций здания, с учетом климатических факторов, характерных для конкретных условий. Данная статья посвящена анализу и высотных зданий города Москвы и на основе расчета, выявления температурных изменений и изменений аэродинамики по высоте зданий. Увеличение скорости ветра и уменьшение температуры создают особые условия, влияющие на теплопотери высотных зданий, что необходимо учитывать при теплозащите наружных ограждающих конструкций.

Ключевые слова: Ветер, здания, сооружения, воздухообмен, теплопотери, климат, регион, высотное здание, ландшафт, аэрация, температура.

Рост экономики ведущих стран стал стимулом к развитию и укрупнению городов, увеличению доли городского населения. В результате расширение городских площадей происходит следующим образом: «горизонтальным» - изменение внешних границ города, «вертикальным» - увеличение этажности зданий. Оглядываясь в историю, города скорее придерживаются комбинированного пути развития. Но если по причинам отсутствия дополнительных территорий или желания получить максимальную выгоду с имеющегося участка необходимо идти по пути строительства вверх, нужно понимать, что возведение высотных зданий, групп таких зданий или полноценных высотных градостроительных комплексов, увеличение плотности транспортной и инженерной инфраструктуры способствует концентрации населения в данной локации. А

интенсивная хозяйственная деятельность горожан сопровождается ростом энергопотребления.

Процессы поглощения и излучения солнечной радиации, испарения, теплообмена и воздухообмена, протекающие на различных поверхностях зданий и элементов городской среды влияют на температурно-ветровой режим застройки. И как следствие, изменяют природно-климатические параметры окружающей среды, формируя микроклимат городских районов [1].

Плотность и большая высотность застройки препятствуют естественной аэрации и способствуют образованию «острова тепла».

Городской тепловой остров (UHI) и городской сухой остров (UDI) сформированные над Москвой являются реальными физическими явлениями, которые выражаются в повышении температуры воздуха в центральной части города на $1^{\circ} \dots 2,0^{\circ}$ и снижении влажности на 9% относительно загородных территорий. При этом давление водяного пара практически неизменно. [2].

Исследования и анализ зданий и территории делового центра Москва-Сити позволил выявить, что даже в небольшом районе (в рамках общей площади города) образовался свой местный климат с отличными микроклиматическими условиями. Проведенные исследования на примере башни Эволюция, высота которой составляет 238,5 метров, показали, что в зависимости от высоты здания меняются основные климатические наружного воздуха и скорость ветра.

Изменение температуры воздуха в зависимости от высоты (вертикальный градиент температуры) над поверхностью земли в средних широтах составляет $0,7^{\circ}\text{C}$ на каждые 100 метров в летний период и $0,4-0,5^{\circ}\text{C}$ в зимний период. При чем в каждый конкретный момент времени эти значения могут варьироваться, потому что зависят от влажности

(насыщенности) воздуха, а также от свойств приземного слоя атмосферы, который может сильно нагреваться в жаркий летний день и охлаждаться ночью. [3]. Похожую картину когда меняется температура наружного воздуха в зависимости от высоты здания мы наблюдаем и по результатам измерений, произведенных для башни Эволюция комплекса Москва-Сити (рис. 1).

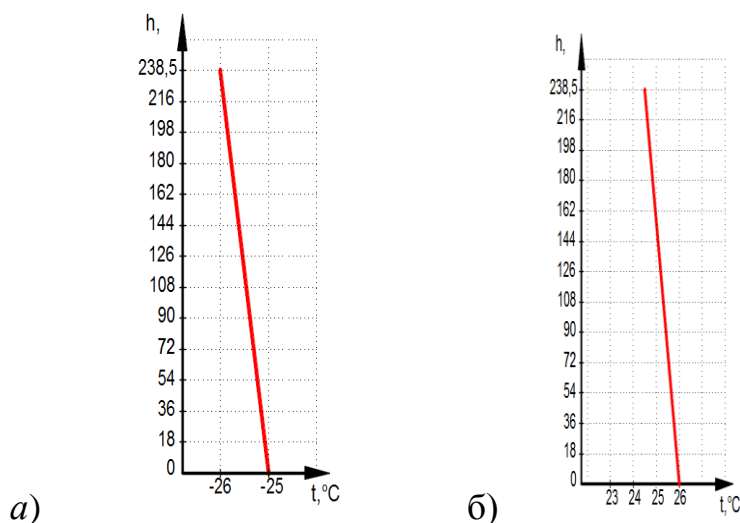


Рис. 1. – Графики изменения температуры наружного воздуха :
а- холодной пятидневки; б- теплого периода

Изменение температуры наружного воздуха в зависимости от высоты здания определяется по формуле [4]:

$$t_h = t_0 - 0.0065 \times h, ^\circ C \quad (1)$$

Где t_h – температура, $^\circ C$, на высоте h , м; t_0 – температура, $^\circ C$, у поверхности земли.

При этом, понижение атмосферного давления наблюдается примерно на 1 гПа через каждые 8 метров высоты.

Изменение атмосферного давления в зависимости от высоты определяется следующим образом [4]:

$$p_h = p_0(1 - 2.25577 \times 10^{-5} \times h)^{5.2559}, Pa \quad (2)$$

где p_h – давление, Па, на высоте h , м; p_0 – давление, Па, у поверхности земли.

Изменения скорости ветра можно можно оценить с помощью таких моделей как спираль Экмана, логарифмический закон, степенной закон. Если известна скорость ветра V_0 на высоте h_0 , то эти модели позволяют оценить скорость ветра v на высоте h [4]:

$$V_h = V_0(h/h_0)^\alpha \text{ м/с} \quad (3)$$

где V_h – скорость ветра, м/с, на высоте h , м;

V_0 – скорость ветра, м/с, измеренная на высоте h_0 , м (скорости ветра измеряются на высоте 10–15 м, поэтому $h_0 = 10$ —15 м);

α – показатель степени, который устанавливается экспериментально и зависит от типа местности; для центров крупных городов принимают $\alpha = 0,33$, для условий пригорода $\alpha = 0,22$, для открытой местности $\alpha = 0,14$.

Изменения скорости ветра по высоте здания отражены на графике (рис. 2), который построен по результатам натуральных наблюдений башни Эволюция.

Рисунки 1 и 2 показывают, что с изменением высоты здания (до 238,5 м) в летнее время наблюдается уменьшение температуры наружного воздуха до 2 °С, зимой - до 1 °С. Кроме того увеличивается скорость ветра в теплый период до 2 м/с, в холодный период до 4 м/с.

На теплопотери здания через наружные ограждающие конструкции, в холодный период года оказывают влияние сочетание скорости ветра и низкие температуры.

Следовательно, можно утверждать, что требуемое сопротивление теплопередачи наружных ограждающих конструкций должно быть больше с повышением уровня этажа.

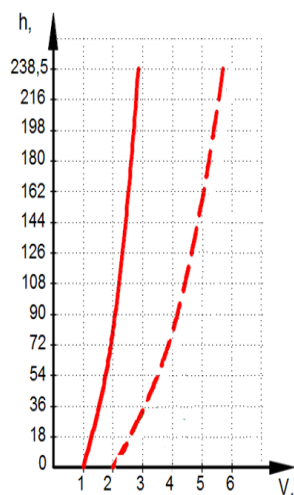


Рис.2. - Зависимость скорости ветра от высоты башни Эволюция для города Москва, где сплошная линия - изменение скорости ветра в летний период, пунктирная линия – в зимний

В летний период перегрев фасада здания и появление мощных конвективных потоков на поверхностях, облучаемых солнцем, приводит к необходимости более тщательного выбора мест для размещения воздухозаборных устройств, а также мер по защите от излишней солнечной радиации[5,6].

Изменение давления и скорости ветра в зависимости от высоты здания приводят к появлению эффекта тяги (stack effect). Проблемы, возникающие вследствие сильного эффекта тяги, решаются, как правило, повышением воздухопроницаемости ограждающих конструкций (наружных стен, входных дверей, дверей лестничных клеток и пр.), закрытием шахт, их вертикальным зонированием, организацией тамбуров, а также созданием дополнительного подбора систем вентиляции [7].

Для примера рассмотрим перепад давления (Δp) на дверях лестничных клеток в одном из корпусов многофункционального высотного жилого

комплекса, расположенного в г. Москва, представляющего собой архитектурную композицию из трех корпусов башенного типа высотой до 175 метров (52 этажа), объединенных общим стилобатом. Расчет был проведен в рамках разработки проектной документации, результаты представлены на рис.3 и рис.4.

Знак «+» соответствует течению воздуха внутрь здания, знак «-» — течение из здания. То есть положительный перепад давлений («+») на наружных дверях означает, что давление на двери со стороны улицы больше, чем со стороны помещения. Отрицательный перепад давления («-») — давление на двери со стороны улицы меньше, чем давление со стороны помещения.

Из рис. 3 видно, что на первом этаже на двери лестничной клетки 2, ведущей в подземную часть здания через тамбур-шлюз перед лифтовым холлом, наблюдается повышенный перепад давлений, достигающий 90 Па, что вызовет трудности при их открывании.

Далее на рис. 4 продемонстрированы графики после проведения компенсационных мероприятий.

В последние десятилетия в рамках программы устойчивого развития и уменьшения выделения парниковых газов было реализовано множество проектов, в строительство и эксплуатацию зданий, может достигать 40% от общего энергопотребления стран [8, 9].

Введение стандартов зеленого строительства BREEAM, LEED, стандарта WELL и программы Carbon footprint призвано решить данную проблему. Строительная индустрия постепенно внедряет эти принципы, трансформируется, стараясь акцентировать внимание на конечном потребителе, на комфорте, благополучии и здоровье людей.

Одним из направлений, регулируемых «зелеными» стандартами и программами является теплоустойчивость зданий, которая зависит от теплоизоляционных характеристик наружных ограждающих конструкций ,

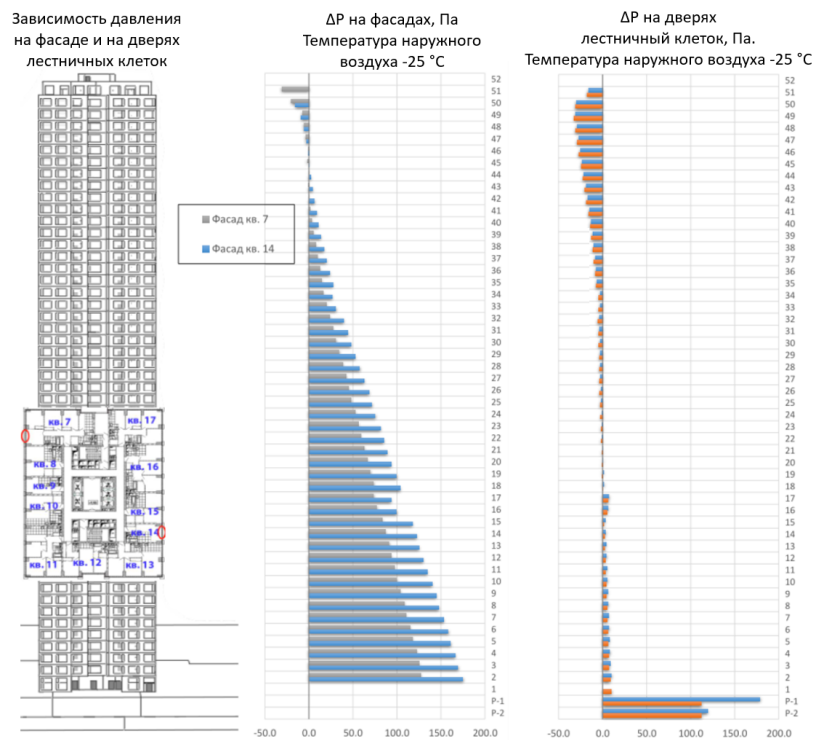


Рис.3. - Зависимость давления на фасадах здания и на дверях лестничных КЛЕТОК

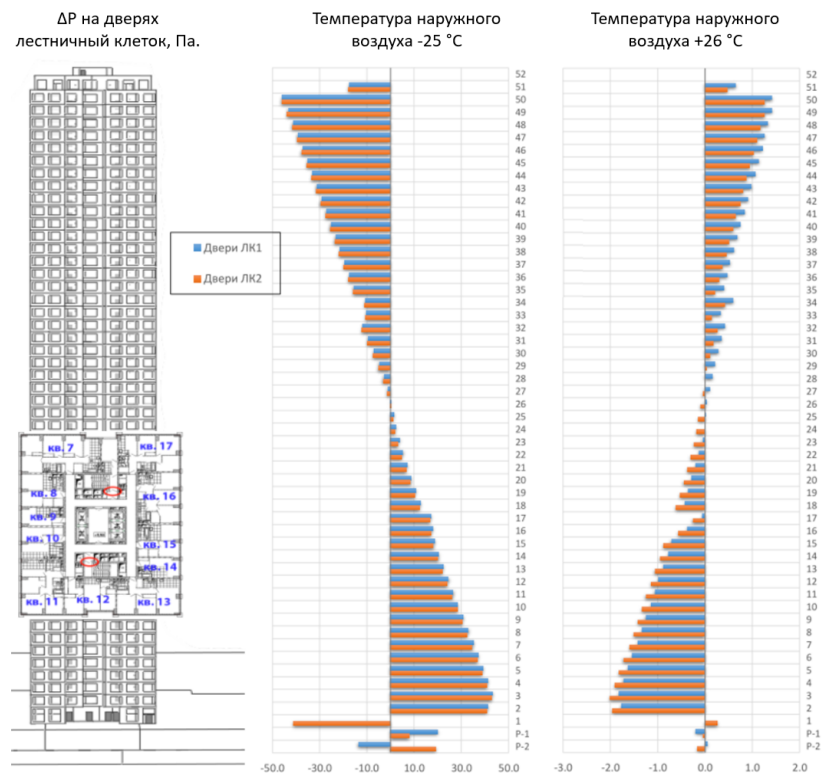


Рис.4. - Разница давления на дверях лестничных клеток в зимний и летний период

геометрической формы здания, от объема надземной и подземной частей здания, от технических характеристик инженерных систем, от протяженности и расположения сетей, т.е. соотношения количества инженерных сетей, находящихся внутри теплового контура и за его пределами. Анализ теплотехнических и объемно-планировочных показателей проектируемых зданий дает основание утверждать, что при прочих равных, здания, коэффициент компактности которых приближен к 1, будут более энергоэффективны. К такому же заключению пришли и другие авторы [10,11].

Рассмотрим некоторые параметры, влияющие на энергоэффективность, на примере данных из проектной документации по трем высотным жилым комплексам, построенным в городе Москве (Таблица).

Объект 1 - многофункциональный жилой комплекс, состоящий из трех корпусов башенного типа, объединенных общим стилобатом. Высота рассматриваемого корпуса 170 метров (52 этажа);

Объект 2 – комплексная жилая застройка в виде двух высотных градостроительных комплексов, расположенных на стилобатах и имеющих подземные автостоянки, с объектами социальной инфраструктуры. Рассматривается жилой корпус высотой 215 метров (56 этажей);

Объект 3 - многофункциональный высотный жилой комплекс с подземной автостоянкой на территории ММДЦ «Москва-Сити». Высота комплекса 404 метра (108 этажей).

Расчетные условия для г Москвы:

1. Расчетная температура наружного воздуха t_n для проектирования теплозащиты -25°C;
2. Средняя температура наружного воздуха t_{om} за отопительный период -2,2°C;
3. Продолжительность отопительного периода z_{om} 205 сут;

4. Градусо-сутки отопительного периода ГСОП4551;
5. Расчетная температура внутреннего воздуха для проектирования теплозащиты $t_{в20}^{\circ}\text{C}$;
6. Расчетная температура отапливаемого тех. пространств и мест общего пользования $t_{в16}^{\circ}\text{C}$;
7. Расчетная температура отапливаемой автостоянки $t_{г} 5^{\circ}\text{C}$;
8. Расчетная температура БКТ $t_{н} 18^{\circ}\text{C}$.

Таблица

Показатель	Обозначение и единица измерения	Расчетное проектное значение		
		Фактическое значение		
		Объект 1	Объект 2	Объект 3
1	2	3	4	5
Основные геометрические показатели				
1. Сумма площадей этажей здания	$A_{om}, \text{м}^2$	26242,1	64464,0	41309,75
2. Площадь жилых помещений	$A_{жс}, \text{м}^2$	14382,8	30457,0	-
3. Расчетная площадь (общественных зданий)	$A_p, \text{м}^2$	520,0	719,0	33228
4. Отапливаемый объем	$V_{om}, \text{м}^3$	185720	215945,0	211040
5. Общая площадь наружных ограждений , в том числе	$A_n, \text{м}^2$	28129	36273	29040
стен	$A_{фас}, \text{м}^2$	15018	17376	6819
окон и витражей	$A_{ск}, \text{м}^2$	10641	15398	15104

1	2	3	4	5
6. Коэффициент остекления фасада здания	f	0,42	0,467	0,68
7. Показатель компактности здания	$K_{комп}$	0,141	0,168	0,138
Удельные характеристики				
8. Удельная теплозащитная характеристика здания	$k_{об}, Вт / м^3 \times ^\circ C$	0,121	0,143	0,135
9. Удельная вентиляционная характеристика здания	$k_{вент}, Вт / м^3 \times ^\circ C$	0,073	0,089	0,201
10. Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания	$k_{быт}, Вт / м^3 \times ^\circ C$	0,036	0,057	0,036
11. Удельная характеристика тепlopоступлений в здание от солнечной радиации	$k_{рад}, Вт / м^3 \times ^\circ C$	0,047	0,064	0,06
12. Приведенный трансмиссионный коэффициент теплопередачи	$k_{пр}, Вт / м^3 \times ^\circ C$	0,84	-	0,73

Показатель	Расчетное проектное значение		
	Фактическое значение		
	Объект 1	Объект 2	Объект 3
Комплексные показатели расхода тепловой энергии			
13. Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	0,131	0,143	0,283
14. Нормируемая удельная характеристика тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	0,290	0,290	0,311
15. Класс энергосбережения (проектный)	A+	C+	C+

Представленные для сравнения высотные здания имеют лаконичные решения фасадов, схожую геометрическую форму и близкий показатель компактности здания.

Таким образом, при проектировании высотных зданий необходимо учитывать фактические климатические параметры района строительства и изменение этих параметров в зависимости от высоты здания:

1. Проводить компьютерное моделирование процессов и натурные замеры для оценки изменения климатических данных, ветрового, температурного и инсоляционного режима застройки;
2. Выполнять расчет эффекта тяги, для оптимизации объемно-планировочных решений и работы инженерных систем;

3. Оптимизировать геометрические характеристики с целью уменьшения площади наружных ограждающих конструкций, при сохранении полезной площади и архитектурной выразительности;

4. Достигать равномерного теплового баланса внутри высотного здания, путем использования в составе ограждающих конструкций элементов и материалов, обладающих высокими эксплуатационными, теплоизоляционными характеристиками. Оптимизировать их по высоте здания (например, тип 1 с 1 по 30 этаж, тип 2 с 31 по 60 этаж и т.д.), с учетом изменения аэродинамики местности и основных климатических параметров.

Литература

1. Гиясов А., Баротов Ю.Г., Роль зеленых насаждений в оздоровлении микроклимата городской застройки южных районов. Журнал. Экология урбанизированных территорий. М: №3 2018. с.90-97.

2. Кашинцева В.Л., Леонова Д.А., Гиясов Т.Б., Роль конвективных потоков в экологии воздушного бассейна города. Журнал Бюллетень строительной техники. – 2018 № 12. С. 27-30.

3. Табунщиков Ю. А., Шилкин Н. В. Аэродинамика высотных зданий // АВОК. – 2004. – № 8. С.14-24.

4. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В. Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. С.8-10.

5. Шойхет Б.М., Концепция энергоэффективного здания. Энергосбережение №7'2007. С.62-66.

6. Самарин О.Д. Нормирование энергопотребления здания с учетом теплопоступлений от солнечной радиации. // Жилищное строительство. 2013, № 1, с. 32 – 33.

7. Agostino. Delia D', Parker Danny, Melià Paco. Environmental and economic data on energy efficiency measures for residential buildings. Data in Brief, In press, journal pre-proof, Available online 28 November 2019, Article 104905.

8. Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения. М.: Стройиздат, 1984. С. 11-12.

9. Малявина Е.Г., Бирюков С.В. Расчет воздушного режима многоэтажных зданий с различной температурой воздуха в помещениях. М.: АВОК, № 2. 2008. С.12-14.

10. Ким Д.А., Гиясов Т.Б. Влияние объемно-планировочного решения здания на показатели энергоэффективности. // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5490.

11. Ким Д.А. Анализ ветрового воздействия на здания и сооружения // Инженерный вестник Дона, 2020, №12. URL: ivdon.ru /ru/magazine/archive/ n 12y2020/6699.

References

1. Gijasov A., Barotov Ju.G. Zhurnal. Jekologija urbanizirovannyh territorij. M: №3 2018. pp. 90-97.

2. Kashintseva V.L., Leonova D.A., Giyasov T.B., Byulleten' stroitel'noy tekhniki. 2018, 12, 27-30.

3. Tabunshhikov Ju.A., Shilkin N.V., AVOK. 2004, № 8, pp.14-24.

4. Tabunshhikov Ju. A., Brodach M. M., Shilkin N. V. M.: AVOK-PRESS, 2003, pp. 8-10.

5. Shoikhet B.M., Energy saving №7'2007, pp. 62-66.

6.Samarin O.D., Zhilishhnoe stroitel'stvo. 2013, № 1, pp. 32 – 33.

7. Agostino. Delia D', Parker Danny, Melià Paco. Environmental and economic data on energy efficiency measures for residential buildings. Data in Brief, In press, journal pre-proof, Available online 28 November 2019, Article 104905.



8. Simiu Je., Skanlan R. Vozdejstvie vetra na zdaniya i sooruzheniya [The impact of wind on buildings and structures]. M.: Strojizdat, 1984, pp.11-12.
9. Maljavina E.G., Birjukov S.V. AVOK, № 2. 2008, pp.12-14.
10. Kim D.A., Gijasov T.B. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5490.
11. Kim D.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6699.