

Влияние современной городской застройки на энергоэффективность зданий

Б.И. Гиясов

*Национальный исследовательский московский государственный
строительный университет НИУ МГСУ, Москва*

Аннотация: Бурное развитие экономики ведущих стран мира повлекло за собой развитие высотного строительства в современных городах. В связи с этим, вопрос энергопотребления современных высотных зданий в последнее время приобретает все большее значение. С увеличением количества высотных зданий и развитием городской инфраструктуры повышается объем энергопотребления. Современное высотное строительство, увеличивая плотность городского пространства, существенно изменяет местные климатические условия. Формирование местных климатических факторов при строительстве высотных зданий и их влияние на энергоэффективность зданий является актуальной и малоизученной проблемой. В статье проведен анализ влияния современной городской застройки на климатические и аэродинамические условия местности. Проведена оценка климатических факторов, влияющих на тепловые потери высотного здания. На примере высотного здания города Москвы «Эволюция» выполнены расчеты и представлены графики изменения температуры и скорости ветра по высоте здания. Результаты исследований позволяют оценить влияние климатических факторов на энергозатраты высотных зданий, и могут быть учтены при проектировании современных энергоэффективных зданий.

Ключевые слова: Энергоэффективность, городская застройка, микроклимат, аэрация, климат, плотная застройка, остров тепла, солнечная радиация, конвективные потоки, ориентация зданий, среда обитания, климатические факторы.

Недостаток свободных площадей в крупнейших городах является одной из основных проблем современного общества, что приводит к росту потребности в жилых, общественных, административных, торгово-выставочных площадях и увеличением числа автомобилей.

Основные критерии, к которым стремятся архитекторы - это максимальное использование площадей, многофункциональность и доступность. В связи с этим у современных строителей огромный интерес, в последнее время, вызывают высотные многофункциональные здания. С одной стороны, увеличение на фундаменте количества квадратных метров выгодно, но высокая стоимость проектирования и строительства высотных зданий, приво-

дит к большим затратам и требует значительных материальных расходов в процессе эксплуатации. Таким образом, можно отметить, что чем выше здание, тем оно дороже в эксплуатации.

Известно, что на здания оказывают воздействие внешние климатические факторы, такие как температура наружного воздуха, ветер, солнечная радиация. Интенсивность воздействий этих факторов зависит как от климатической зоны, в которой расположено здание, так и архитектурных форм и ориентации здания. Очевидно, что природно-климатические факторы, учет которых необходим при строительстве, влияют на выбор архитектурных форм зданий и структуру городской застройки.

Еще одной актуальной проблемой современного мира является повышение стоимости энергии. Это вызвано тем, что стоимость энергии очень высока, а ее запасы уменьшаются из года в год. Вследствие этого, вопрос уменьшения энергопотребления современных высотных зданий приобретает все большую актуальность.

Установлено, что энергопотребление всех гражданских зданий больше, чем энергозатраты всей промышленности с её фабриками, заводами, металлургическими комбинатами и энергии, которая расходуется на транспорт со всеми его автомобилями, поездами и теплоходами (рисунок 1) [1,2].

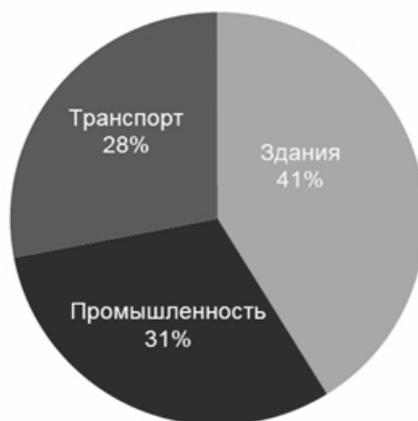


Рисунок 1. Диаграмма распределение энергопотребления в Европе.

Распределение энергопотребления в разных странах может зависеть от особенностей природно-климатических факторов, темпов развития промышленности и городов, внедрения энергосберегающих технологий и т.д.

Город, как правило, включает в себя производственную территорию, территорию жилого назначения, общественную и природную территории. В связи с бурным темпом развития экономики стран, и увеличением плотности населения появилась необходимость совершенствовать крупнейшие города, развивая транспортную и инженерную инфраструктуру. Увеличение плотности населения в современных крупнейших городах значительно влияет на плотность территорий жилого и общественного назначения [3,4]. Вследствие этого появляется множество многофункциональных высотных зданий, которые, меняя архитектуру этих территорий, вносят изменения во внешний облик городов, что существенно сказывается на потреблении энергоресурсов. Высотная архитектура, преобразовывая аэродинамику местности, влияет и на тепло-ветровой режим жилых и общественных территорий [5,6]. Для современной строительной индустрии характерны плотность застройки городов, активная инфраструктура и деятельность транспортных сетей. Стремительное развитие города и рост современных высотных построек, меняя природный ландшафт местности, значительно влияет и на устоявшийся климатический режим. Таким образом,

современные города, как среда обитания человека, подвергаются постоянным изменениям в результате развития бытового уклада, что повышает спрос на энергоресурсы. В связи с этим, сегодня в крупнейших городах остро стоят задачи поиска путей энергосбережения, создания многофункциональных энергоэффективных высотных зданий и развития технологий в этом направлении.

Высотным зданием принято считать здание высотой более 75 м или более 25 этажей. Для рационального использования площадей высотные здания проектируют многофункциональными. По мнению известного отечественного архитектора-градостроителя А.А. Цветкова, здания и сооружения высотой до 120 м (30–35 этажей и ниже этой отметки) относятся к классу высотных, а здания высотой в 120 м (40 этажей) и выше — к небоскрегам. Рубеж в 120 м выбран потому, что самые низкие облака проплывают именно на этой высоте. Обслуживание высотных зданий и небоскребов требует значительных энергозатрат. В связи с этим, проблема строительства энергоэффективных высотных зданий с целью уменьшения эксплуатационных затрат является одной из важнейших задач. Для решения этой задачи необходимо выявить основные факторы, влияющие на энергоэффективность современных высотных зданий.

Очевидно, что основными факторами, влияющими на энергоэффективность зданий, являются природно-климатические факторы (рисунок 2).

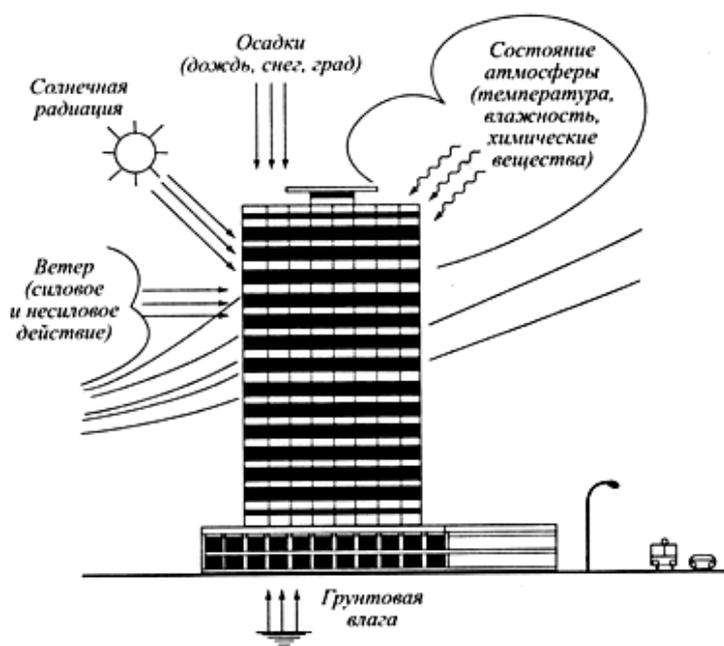


Рисунок 2 – Климатические факторы внешнего воздействия на здания.

Природно-климатические факторы, как важнейшая характеристика городской среды, в процессе развития современных зданий подвергаются существенным изменениям. Наблюдается изменение факторов, таких как температура наружного воздуха и скорость ветра по высоте здания. Кроме того, под воздействием солнечной радиации у инсолируемых фасадов образуются восходящие конвективные потоки, которые меняют аэродинамику городской среды. Процессы поглощения и излучения радиации, испарения и теплообмена на различных поверхностях городской среды образуют различные варианты микроклимата в географическом районе с одним и тем же типом климата. Таким образом, формируются местные особенности климата, обусловленные неоднородностью городской застройки, и подстилающей поверхности [7,8].

Очевидно, что солнечная радиация, изменяя микроклимат прилегающей территории современной городской застройки, оказывает существенное влияние и на энергоэффективность высотных зданий. В свою

очередь интенсивность солнечной радиации зависит от прозрачности городской атмосферы. Около 20% солнечной радиации может теряться за счет мутности атмосферы в условиях больших промышленных городов с плотной застройкой. В летний период различия в интенсивности прямой солнечной радиации в жилых и промышленных районах города достигают 20—22 %. Наблюдается ослабление интенсивности прямой солнечной радиации в радиусе до 3 км в непосредственной близости к крупным промышленным предприятиям и может составлять 35—40 % [9,10]. Подобные явления в совокупности с нарушением аэродинамического режима местности способствуют образованию городского острова тепла. Остров тепла над крупными городами – это явление, при котором температура городского пространства выше температуры окружающих сельских местностей. Интенсивное развитие современных высотных зданий способствует активной деятельности инженерной и транспортной инфраструктуры и формированию антропогенных факторов, которые благоприятствуют возникновению острова тепла [11].

В итоге необходимо отметить, что природно-климатические факторы, воздействующие на микроклимат городской среды, с развитием высотной застройки испытывают существенные изменения.

Изменения основных параметров климатических факторов были исследованы на примере башни «Эволюция». На основе проведенных расчетов построены графики изменения температуры наружного воздуха и скорости ветра в зависимости от высоты здания. Очевидно, что изменение наружных климатических параметров оказывает влияние на тепловоздушный режим разноэтажно расположенных помещений высотного здания.

Изменение по высоте здания температуры наружного воздуха и атмосферного давления можно определить по следующим формулам [12]:

$$t_h = t_0 - 0,0065 \times h, ^\circ C \quad (1)$$

$$p_h = p_0 \cdot (1 - 2,25577 \cdot 10^{-5} \cdot h)^{5,2559}, \text{Па} \quad (2)$$

где t_h , p_h – соответственно температура, °С, и давление, Па, на высоте h , м;
 t_0 , p_0 – соответственно температура, °С, и давление, Па, у поверхности земли.

Расчетные климатические параметры по (СП 131.13330.2012. «Строительная климатология») определены расчетные климатические параметры для города Москва.

На основе полученных данных построены графики изменения температуры наружного воздуха по высоте здания (рисунок 3).

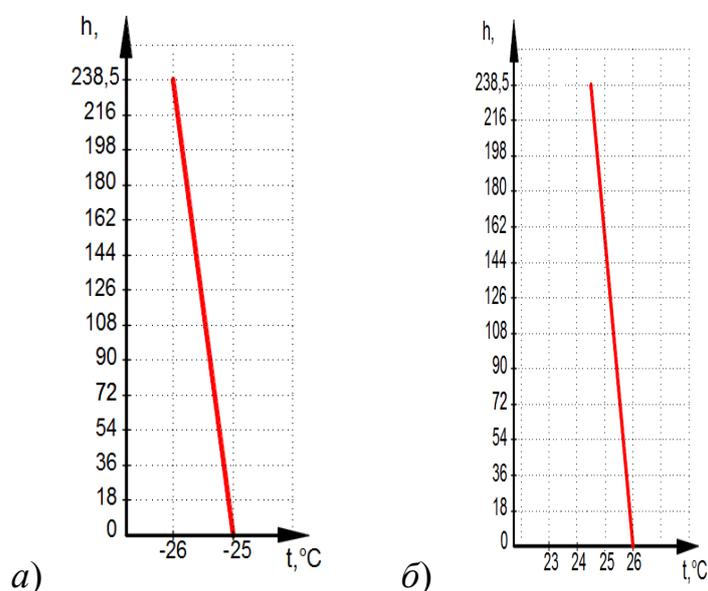


Рисунок 3 - Изменение по высоте башни Эволюция температуры наружного воздуха для города Москва: а- наиболее холодной пятидневки; б- теплого периода.

Для оценки изменения скорости ветра по высоте используются различные модели – спираль Экмана, логарифмический закон, степенной закон [13,14]. Эти модели позволяют оценить скорость ветра V на высоте h , если известна скорость ветра V_0 на высоте h_0 .

Степенной закон изменения скорости ветра по высоте имеет вид:

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

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, зависящий от типа местности и устанавливаемый экспериментально; рекомендуется для центров крупных городов принимать $\alpha = 0,33$, для условий пригорода $\alpha = 0,22$, для открытой местности $\alpha = 0,14$.

По результатам расчета построен график изменения скорости ветра по высоте здания (рис. 4)

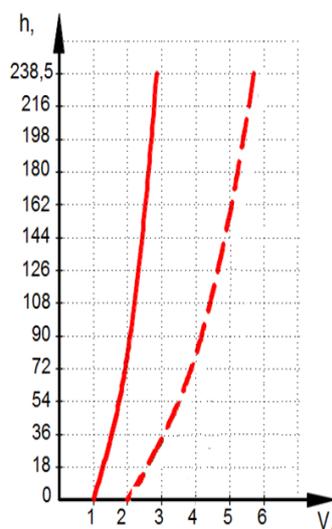


Рисунок 4 - Изменение по высоте башни «Эволюция» скорости ветра для города Москва.

Из рисунка 4 видно, что с увеличением высоты здания возрастает скорость ветра и в условиях городской застройки это происходит более интенсивно.

На примере башни «Эволюция» проведен расчет теплопотерь разноэтажно расположенных помещений для города Москва.

Теплопотери помещения за счет теплопередачи через наружные ограждения определяются суммированием потерь тепла через каждое

наружное ограждение, которые рассчитываются по следующей формуле (СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»):

$$Q_{m.n_i} = k_i \cdot F_i \cdot (t_b - t_n^x) \cdot n_i \cdot (1 + \sum \beta_i), \text{Вт} \quad (4)$$

где: $k_i \cdot F_i \cdot (t_b - t_n^x) \cdot n_i$ - основные теплопотери;

k_i - коэффициент теплопередачи ограждения, $\text{Вт}/^\circ\text{C} \times \text{м}^2$;

F_i - площадь поверхности ограждения по наружному обмеру, м^2 .

t_b - расчетная температура внутри помещения;

t_n^x - температура наружного воздуха, на высоте h^x ;

β - надбавка к основным теплопотерям зависящая от ориентации вертикального ограждения по сторонам света.

n_i - коэффициент, принимающийся в зависимости от положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, т.е. коэффициент, уменьшающий разность температур $(t_b - t_n^x)$ для ограждений, не соприкасающихся с наружным воздухом. По результатам расчета теплопотерь помещений здания построен график (Рисунок 5)

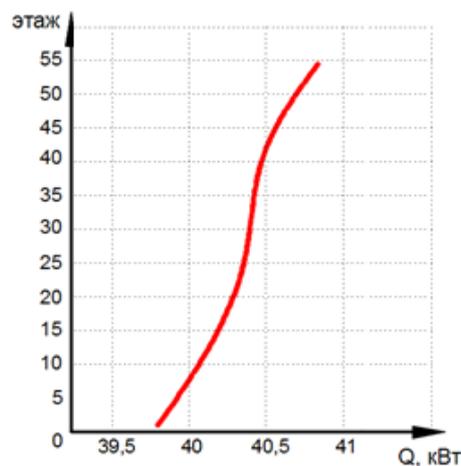


Рисунок 5 – Теплопотери разноэтажно расположенных помещений башни «Эволюция» для города Москва.

Мощность системы вентиляции определяется по формуле:

$$Q^B = L \cdot \rho \cdot (t_b - t_n^x) \cdot C / 3,6, \text{кВт} \quad (5)$$

L - расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$;

ρ - плотность воздуха, $\rho = 1,2 \text{ кг} / \text{м}^3$;

C - теплоемкость воздуха, $C = 1,005 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$.

На основании расчета мощности вентиляции помещений здания построен график (Рисунок 6).

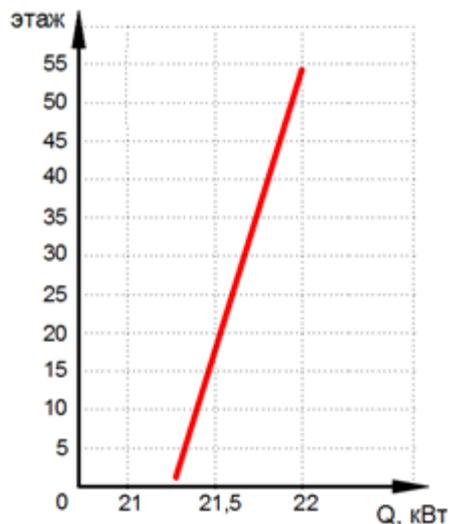


Рисунок 6 – Мощность системы вентиляции разноэтажно расположенных помещений башни «Эволюция» для города Москва.

Изменение наружных климатических параметров оказывает влияние на тепловоздушный режим разноэтажно расположенных помещений высотного здания. Из рисунков 5 и 6 видно, что теплотери помещений и мощность системы вентиляции возрастает с увеличением высоты расположения данного помещения.

Выводы

1. С увеличением высоты здания уменьшается температура наружного воздуха и атмосферное давление, перепад давления воздуха между верхними и нижними этажами при этом увеличивается. Это может привести к существенному перетеканию воздушных масс с нижних этажей на верхние, к

нарушению расчетных воздушных балансов, к снижению в зимний период температуры воздуха на нижних этажах.

2. Из-за облученности наружных поверхностей здания солнечной радиацией в теплый период года их температура резко возрастает и значительно отличается от температуры наружного воздуха. В результате разности температур образуется конвективный тепловой поток, направленный вверх здания, и имеет место так называемый приповерхностный (пограничный) слой нагретого воздуха, что имеет большое значение для проектирования воздухозаборных устройств и определения воздухопроницаемости ограждающих конструкций, так как изменяются значения скорости воздушных потоков у наружной поверхности зданий.

3. Рост скорости ветра по высоте в холодный период года оказывает влияние на коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции. Он будет незначительно увеличиваться, при этом сокращать величину сопротивления теплоотдачи наружной ограждающей конструкции и уменьшать общее сопротивление теплопередаче ограждающей конструкций.

4. Уменьшение температуры воздуха по высоте оказывает влияние на величину поверхностной плотности теплового потока, проходящего через наружные ограждающие конструкции, что приводит к увеличению теплотерь разноэтажно расположенных помещений.

5. Уменьшение температуры наружного воздуха с увеличением высоты здания, влияет на величину мощности системы вентиляции.

При решении градостроительных задач и реализации проектов высотных зданий, на стадии разработки проектной документации необходимо учитывать особенности климатических факторов, влияющих на тепло-ветровой режим окружающей среды и энергоэффективность зданий.

Литература

1. Булатова А.С. Мировая экономика: Учебник / Под ред. проф. Булатова А. С. — М. - 2005. С. 9-10.
 2. Asere Liva, Blumberga Andra Energy efficiency – indoor air quality dilemma in public buildings. Energy Procedia, Volume 147, August 2018, Pp. 445-451.
 3. Гиясов Б.И. Влияние развития инфраструктуры городов на жилую среду // Журнал Вестник МГСУ №4, 2012 год, С. 17-21.
 4. Безрукова А.С., Козловский Б.Л., Куропятников М.В., Федоринова О.И. Экологическая оценка рекреационных объектов Ростова-на-Дону. // Инженерный вестник Дона, 2015, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/6101
 5. Табунщиков Ю. А., Шилкин Н. В. Аэродинамика высотных зданий // АВОК. – 2004. – № 8. С.14-24.
 6. 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.
 7. Гиясов Б.И. Роль солнечной радиации в формировании тепло-ветрового режима междомового пространства. Вестник МГСУ, 2012, №3. стр. 13-15.
 8. 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.
 9. Степанова Н.В., Шлычков А.П. Влияние комплекса метеорологических условий на загрязнение атмосферного воздуха города // Казанский медицинский журнал. 2004. Т. 4. Вып. 5. С. 380.
 10. Чистякова С.Б. - Охрана окружающей среды, М. Стройиздат, 1988г. С. 18-20.
-

11. Локощенко М.А. Городские острова тепла // Тезисы докладов XX Всероссийской школы-конференции молодых учёных Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические эффекты. — типография Института прикладной физики РАН Нижний Новгород, 2016. — С. 9–10.

12. Научно-прикладной справочник по климату СССР. – Серия 3. Многолетние данные. Ч. 1-6. СПб: Гидрометеоздат, 1989-1998. Вып. 1-34. С. 26-28.

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

14. ASHRAE Handbook. Fundamentals. SI Edition, 1997. p. 16.

References

1. Bulatova A.S. Mirovaja jekonomika: Uchebnik [World economics; textbook]. Pod red. prof. Bulatova A.S. M., 2005. pp. 9-10.

2. Asere Liva, Blumberga Andra. Energy Procedia, Volume 147, August 2018, Pp. 445-451.

3. Gijasov B.I. Zhurnal Vestnik MGSU 2012, Vol. 4, pp. 17-21.

4. Bezrukova A.S., Kozlovskij B.L., Kurovjatnikov M.V., Fedorinova O.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/6101, pp. 1-2.

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

6. Kim D.A., Gijasov T.B. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5490.

7. Gijasov B.I., Zhurnal Vestnik MGSU, 2012, Vol. 3, pp. 13-15.

8. 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.

9. Stepanova N.V., Shlychikov A.P. Kazanskij medicinskij zhurnal. 2004, Vol. 4, Issue 5, p. 380.



10. Chistjakova S.B. Ohrana okruzhajushhej sredy [Environmental protection]. M.: Strojizdat, 1988. pp. 18-20.

11. Lokoshhenko M.A. Gorodskie ostrova tepla [Urban heat islands], Tezisy dokladov XX Vserossijskoj shkoly-konferencii molodyh uchjonyh Sostav atmosfery. Atmosfernoe jelektrichestvo. Klimaticheskie jeffekty. Tipografija Instituta prikladnoj fiziki RAN Nizhnij Novgorod, 2016, pp. 9–10.

12. Nauchno-prikladnoj spravochnik po klimatu SSSR. Serija 3. Mnogoletnie dannye. Ch. 1-6 [Scientific and Applied Handbook on the Climate of the USSR. Series 3. Perennial Data. Part 1-6]. SPb.: Gidrometeoizdat, 1989-1998. Vyp. 1-34, pp. 26-28.

13. Simiu Je., Skanlan R. Vozdejstvie vetra na zdaniya i sooruzhenija [The impact of wind on buildings and structures]. M.: Strojizdat, 1984, pp. 11-12.

14. ASHRAE Handbook. Fundamentals. SI Edition, 1997, p. 16.