

УДК 697

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗДАНИЙ
С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

**DESIGN OF BUILDING VENTILATION SYSTEMS
TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE
OF AIR PERMEABILITY OF FENCING CONSTRUCTIONS**

М.С. Клявлин, Д.А. Халфина, Я.М. Клявлиная, Р.А. Талипов

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация**

**Mars S. Klyavlin, Diana A. Khalfina, Yana M. Klyavlina,
Rustem A. Talipov**

**Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, Russian Federation**

e-mail: mars_klyavlin@mail.ru

Аннотация. В современном мире сложно переоценить важность качества воздуха в помещениях, где мы проводим большую часть своей жизни. Параметры микроклимата оказывают непосредственное воздействие на организм человека, способствуя как ухудшению, так и улучшению его состояния. В связи с этим, особую роль следует отводить созданию качественных систем микроклимата помещений еще на этапе разработки проекта. Немаловажную роль здесь занимает степень инфильтрации воздуха извне, напрямую зависящая от воздухопроницаемости ограждающих конструкций здания.

В статье рассматривается влияние параметров воздухопроницаемости ограждающих конструкции зданий на работу систем вентиляции с

естественным и механическим побуждением, приводятся конкретные рекомендации при подготовке проектной документации, включая разделы «Архитектурные решения», «Конструктивные решения», «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».

Целью статьи является исследование влияния воздухопроницаемости ограждающих конструкций здания на проектирование климатических систем. В основной перечень задач для решения данного вопроса входят анализ эффективности работы систем естественной и механической вентиляции, оценка действующей отечественной нормативной базы по соответствующей тематике, анализ зарубежных стандартов, а также изучение совместного воздействия ветрового давления, гравитационного давления и давления, создаваемого системами вентиляции.

Для изучения вопроса проведен обзор современной отечественной и зарубежной научной литературы, а также действующей нормативно-технической базы.

В результате проведенных исследований выявлены основные проблемы работы систем вентиляции, в том числе высотных зданий, получена оценка факторов, которые оказывают влияние на инфильтрацию воздуха, приведены практические рекомендации по решению обозначенных проблем на этапе проектирования зданий. Применение указанных рекомендаций при проектировании зданий позволит обеспечить в полном объеме поддержание требуемых параметров микроклимата на протяжении всего срока его эксплуатации.

Abstract. In the modern world, it is difficult to overestimate the air quality importance in the rooms where we spend most of our lives. The microclimate parameters have a direct effect on the human body, contributing to both deterioration and improvement of its condition. In this regard, a special role should be given to the creation of high-quality indoor climate systems at the stage of project development. An important role here is played by the degree of

air infiltration from outside, which directly depends on the air permeability of the building envelope.

The article discusses the influence of air permeability parameters of building envelopes on the ventilation systems operation with natural and mechanical motivation, provides specific recommendations in the preparation of project documentation, including the sections «Architectural Solutions», «Design Solutions», «Heating, Ventilation and Air Conditioning».

The article aim is to study the effect of building envelopes breathability on the climate system design. The main list of tasks for solving this issue includes analysis of the natural and mechanical ventilation systems efficiency, assessment of the current domestic regulatory framework on relevant topics, foreign standards analysis, as well as the study of the combined effects of wind pressure, gravity pressure and pressure created by ventilation systems.

To study the issue, a review of modern domestic and foreign scientific literature, as well as the current regulatory and technical base, was carried out.

As the research result, the main problems of the ventilation system operation, including high-rise buildings, were identified, an estimate of the factors that affect air infiltration was obtained, practical recommendations for solving the indicated problems at the stage of building design are given. The application of these recommendations in the design of buildings will ensure the full maintenance of the required microclimate parameters throughout the entire period of its operation.

Ключевые слова: инфильтрация; воздухопроницаемость; вентиляция; ограждающие конструкции; микроклимат; системы климатизации; здание

Key words: infiltration; breathability; ventilation; enclosing structures; microclimate; air conditioning systems; building

Явление инфильтрации является одним из важнейших параметров, определяющих состояние микроклимата в помещении. Инфильтрация –

это проникновение через ограждающие конструкции здания воздушных потоков из наружной окружающей среды. Данное перемещение возникает в результате перепада давления внутри и снаружи здания по причине ветрового напора и разности температур [1–3].

Традиционно считается, что инфильтрация возникает вследствие недостаточного уплотнения оконных и дверных проемов. Однако наружный воздух в помещения поступает не только через неплотности в окнах и дверях, но и через стеновые конструкции, которые, как и любая другая ограждающая конструкция, обладают свойством воздухопроницаемости, то есть способностью пропускать воздух.

Воздухопроницаемость – это массовый расход воздуха, проходящий через единицу площади поверхности ограждающей конструкции, перпендикулярной направлению перемещения воздуха, в единицу времени под влиянием перепада давления воздуха. Эта физическая величина зависит от химического состава материала ограждающей конструкции, плотности и однородности его структуры. Суммарное сопротивление воздухопроницанию многослойной ограждающей конструкции определяется суммированием сопротивлений воздухопроницанию всех слоев, ее составляющих. Таким образом, воздухопроницаемость характеризует не материал, а слой материала или ограждающую конструкцию определенной толщины. Нормальное значение показателя воздухопроницаемости для стен и окон должно быть порядка $0,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ [4–7].

Методология определения воздухопроницаемости ограждающих конструкций установлена ГОСТ 31167-2009 «Здания и сооружения. Методы определения воздухопроницаемости ограждающих конструкций в натуральных условиях». Данный документ регламентирует требования по воздухопроницаемости уже построенных зданий и устанавливает критерии для их классификации, однако не содержит рекомендаций по расчету и подбору ограждающих конструкций вновь проектируемых

зданий и строений. При этом значение воздухопроницаемости ограждающих конструкций здания позволило бы определить общий расход инфильтрационного воздуха в здание.

Неопределенность воздействия инфильтрации воздуха может изменить результирующий воздушный баланс здания как в лучшую, так и в худшую сторону. Инфильтрационный воздух не проходит специальную очистку и фильтрацию, не контролируется по влажности, может содержать большое количество загрязняющих веществ, что само по себе вызывает угрозу для воздушной среды здания, а также требует дополнительного нагрева или охлаждения. Наибольшее влияние на инфильтрационный перепад давлений оказывает ветровой напор. При равенстве температур внутреннего и наружного воздуха, если направление ветра перпендикулярно одной из стен, через наветренную стену происходит инфильтрация воздуха, а через три других и крышу – эксфильтрация. Если ветер направлен под углом, давление обращено на две стены, а эксфильтрация происходит через две другие стены и крышу. В расчетах рекомендуется использовать усредненные по времени значения давления на поверхность стен, которые пропорциональны скорости ветра и определяются по уравнению Бернулли.

В разделах 16 и 26 справочника ASHRAE Fundamentals 2001 г. даются количественные оценки ветрового давления на здания и его влияния на системы механической вентиляции.

В случае, если в здании достигаются расчетные параметры воздуха, отвечающие санитарно-гигиеническим нормам, общеобменной вентиляцией, осуществляемой за счет естественных сил (гравитационного и ветрового давления), такой воздухообмен называется аэрацией. Наружный воздух при аэрации поступает в помещение через открываемые проемы, а отработанный воздух, уносящий с собой теплоту, влагу, вредные вещества, удаляется через вытяжные шахты, проемы в верхней части здания или специальные устройства: фонари или фрамуги. Такой тип

вентиляции может использоваться только в помещениях с невысокими требованиями к параметрам микроклимата, например, складских, производственных, без постоянного присутствия рабочего персонала [8–11].

В России для многоквартирных жилых домов без газоиспользующего оборудования обязательным является проектирование систем приточно-вытяжной вентиляции с естественным побуждением, которые отличаются низкой производительностью и сложностью регулирования. Удаление загрязненного воздуха при такой схеме осуществляется из помещений кухонь, санузлов и ванных комнат через вертикальные вытяжные каналы на кровлю здания. Приточный воздух поступает через неплотности в оконных проемах, а также воздушные клапаны в стенах или щелевые отверстия, которые могут примерзнуть в зимнее время.

Расчет естественной вентиляции и подбор сечений каналов вытяжной вентиляции проводится в соответствии с требованиями нормативной документации для температуры наружного воздуха ($+ 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) и температуры внутри помещения (для жилых комнат в большинстве случаев эта температура составляет $+ 21\text{ }^{\circ}\text{C}$ согласно ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях»).

Как показывают практические замеры и многолетний опыт эксплуатации высотных зданий, данная схема приточно-вытяжной вентиляции не обеспечивает требуемый воздухообмен по всему объему здания. Параметры работы системы значительно отличаются по высоте. На нижних этажах скорость удаляемого вытяжного воздуха практически незаметна и близка к 0 м/с . К средним этажам скорость возрастает до рекомендуемой величины 1 м/с , а на верхних достигает 2 м/с , что уже превышает максимально рекомендуемую почти в 2 раза.

Для малоэтажных зданий с современными герметичными пластиковыми стеклопакетами зачастую возникает явление опрокидывания вентиляции, то есть воздух вместо удаления поступает в

помещения через вытяжные вентиляционные каналы за счет разности давлений. Это явление также называется эксфильтрацией. При этом воздух, поступающий из верхней части здания, компенсируется инфильтрацией в нижней части, что может привести к захлаживанию нижних этажей и увеличению нагрузки на систему отопления. В переходный и летний периоды система работает наоборот – инфильтрация наблюдается в верхней части здания, а в нижней будет наблюдаться утечка воздуха.

В качестве рекомендаций на этапе проектирования жилых зданий с системами естественной вентиляции можно выделить следующие.

1. Устройство форточек или открывающихся фрамуг для проветривания в оконных блоках.

2. Устройство оконных регулирующих клапанов щелевого исполнения в боковой или верхней части оконной коробки.

3. Устройство стеновых приточных клапанов, размещаемых, как правило, под оконным проемом над отопительным прибором.

4. Устройством местных вытяжных вентиляторов, устанавливаемых в вентиляционных каналах и решетках верхних этажей.

5. Установка турбодефлекторов на оголовках вытяжных шахт с целью устранения недостаточность тяги в верхних этажах высотных МКД в летний период. Это позволяет увеличить скорость в вытяжном канале в среднем на 20 %, исключить явление обратной тяги, нивелировать влияние погодных факторов на воздухообмен здания.

Безусловно, перечисленные мероприятия не снимают вопрос организации воздухообмена полностью и не позволяют решить проблему контроля параметров микроклимата полностью. Необходим комплексный профессиональный подход к проектированию «пирога» наружных ограждающих конструкций. При разработке проекта высотных зданий, оснащенных приточно-вытяжной системой вентиляции с механическим побуждением, следует придерживаться следующих рекомендаций.

1. Обеспечивать качественное уплотнение дверных проемов входных групп.

2. Предусматривать воздухонепроницаемую изоляцию вертикальных шахт, в том числе лестничных клеток, лифтовых, коммуникационных, вентиляционных.

3. Предусматривать деление здания на отсеки по высоте с обязательным устройством автономных систем вентиляции для каждого отсека либо устройство отдельных вытяжных систем для каждого этажа.

4. Обеспечивать ограничение перетекания воздуха внутри здания для зон, расположенных на одном этаже, но имеющих различные параметры микроклимата, например устройством тамбур-шлюзов в подпором воздуха.

5. Предусматривать частотное регулирование для двигателей вентиляторов с целью обеспечения изменения производительности в зависимости от меняющихся потребностей здания.

6. Обеспечивать небольшой отрицательный дисбаланс по воздухообмену здания в общем объеме в зимний период и положительный – в летний период. Это позволит избежать локального повышения влажности и конденсации влаги на отдельных зонах ограждающих конструкций здания, снижения их долговечности и ухудшения параметров микроклимата.

7. Особое внимание уделять моделированию совместного воздействия барометрического давления, гравитационного давления, ветрового давления и давления, создаваемого системами вентиляции, а также градиенту температур по сечению ограждающих конструкций.

8. Обеспечивать нормативную воздухонепроницаемость ограждающих конструкций здания для нормального функционирования климатических систем здания, а также ограждающих конструкций помещений с высоким уровнем вредности.

9. Технически обоснованно может быть применение ограждающих конструкций с барьером для движения воздуха, которые позволяют контролировать избыточную инфильтрацию воздуха извне. Рекомендуемый коэффициент воздухопроницаемости такой конструкции должен составлять $0,07 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Выводы

Воздухопроницаемость ограждающих конструкций здания оказывает значительное влияние на качество воздуха в помещениях и работу систем климатизации зданий. Избыточная воздухопроницаемость в зимнее время года снижает теплозащитные характеристики ограждающих конструкций, приводит к захлаживанию отдельных помещений, локальному повышению влажности и образованию конденсата, увеличению теплопотерь. В летний период эксфильтрация теплого воздуха может привести к образованию конденсата в толще ограждающей конструкции, что в дальнейшем может вызвать ухудшение ее теплозащитных и конструктивных характеристик, а также риск размножения простейших, являющихся переносчиками различных заболеваний. Вкупе все перечисленные явления отрицательно сказываются на качестве внутреннего воздуха помещений и, следовательно, оказывают пагубное влияние на состояние здоровья людей, которые в них находятся. Современный комплексный подход к проектированию, обязательная взаимная увязка разделов «Архитектурные решения», «Конструктивные решения» и «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха», а также надлежащий контроль на этапе строительства позволят избежать указанных проблем и обеспечить поддержание качества микроклимата в здании в полном объеме в течение всего года и на протяжении всего срока эксплуатации.

Список используемых источников

1. Жилина Т.С., Вяткина С.Д., Вяткина Ю.С., Пересторонин В.С. Работа систем вытяжной естественной вентиляции в жилом доме г. Тюмени // Технические науки в России и за рубежом: матер. VII междунар. науч. конф. М.: Буки-Веди, 2017. С. 106-111.
2. СП 54.13330.2011. Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003. М.: Минрегион России, 2011. 42 с.
3. СТО НОСТРОЙ 34-2012. Устройство систем теплоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования и холодоснабжения. М.: Издательство БСТ, 2012. 60 с.
4. Р НП«АВОК» 5.2-2012. Технические рекомендации по организации воздухообмена в квартирах жилых зданий // Tion. URL: <https://pro.tion.ru/wp-content/uploads/2014/09/Р-НП-АВОК-5.2-2012-Технические-рекомендации-по-организации-воздухообмена-в-квартирах-жилых-зданий.pdf> (дата обращения: 21.01.2019).
5. Ливчак В.И. Решения по вентиляции многоэтажных жилых зданий (из опыта Германии, Франции, Финляндии и Москвы) // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 1999. № 6. С. 24-31.
6. Anis W.A. Влияние воздухопроницаемости на проектирование систем климатизации // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2003. № 2. С. 32-37. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=1987 (дата обращения: 21.01.2019)
7. Малахов М.А. Системы естественно-механической вентиляции в жилых зданиях с теплыми чердаками // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2006. № 7. С. 8-19.
8. Lstiburec J.L. Building Science Corporation. Wesford, Mass.

9. Hutcheon N.B., Handegord G.O.P. Building Science for a Cold Climate. NYC.: Wiley, 1983. 440 p.
10. Air Leakage Characteristics, Test Methods and Specifications for Large Buildings. CMHC Technical Series 1-800-668-2642.
11. Persily A.K. NISTIR 4821. Envelope Design Guidelines for Federal Office Buildings: Thermal Integrity and Airtightness. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 1993. 234 p.

References

1. Zhilina T.S., Vyatkina S.D., Vyatkina Yu.S., Perestoronin V.S. Rabota sistem vytyazhnoi estestvennoi ventilyatsii v zhilom dome g. Tyumeni [The Operation of Exhaust Natural Ventilation Systems in a Residential Building in the City of Tyumen]. *Materialy VII mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Tekhnicheskie nauki v Rossii i za rubezhom»* [Materials of the VII International Scientific Conference «Engineering in Russia and Abroad»]. Moscow, Buki-Vedi Publ., 2017, pp. 106-111. [in Russian].
2. SP 54.13330.2011. Zdaniya zhilye mnogokvartirnye. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 31-01-2003 [SP 54.13330.2011. Residential Multi-Apartment Buildings. Updated Edition of SNIp 31-01-2003]. Moscow, Minregion Rossii Publ., 2011. 42 p. [in Russian].
3. STO NOSTROI 34-2012. Ustroistvo sistem teplosnabzheniya, otopleniya, ventilyatsii, konditsionirovaniya i kholodosnabzheniya [STO NOSTROY 34-2012. The Device of Heat Supply, Heating, Ventilation, Air Conditioning and Refrigeration]. Moscow, Izdatel'stvo BST Publ., 2012. 60 p. [in Russian].
4. R NP«AVOK» 5.2-2012. Tekhnicheskie rekomendatsii po organizatsii vozdukhoobmena v kvartirakh zhilykh zdanii [R NP «ABOK» 5.2-2012. Technical Recommendations for the Organization of Air Exchange in Apartments of Residential Buildings]. *Tion*. URL: <https://pro.tion.ru/wp-content/uploads/2014/09/R-NP-AVOK-5.2-2012-Tekhnicheskie-rekomendatsii-po-organizatsii-vozdukhoobmena-v-kvartirakh-zhilykh-zdaniy.pdf> (accessed 21.01.2019). [in Russian].

5. Livchak V.I. Resheniya po ventilyatsii mnogoetazhnykh zhilykh zdanii (iz opyta Germanii, Frantsii, Finlyandii i Moskvyy) [Ventilation Solutions for Multi-Story Residential Buildings (from the Experience of Germany, France, Finland and Moscow)]. *AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika – AVOK: Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics*, 1999, No. 6, pp. 24-31. [in Russian].

6. Anis W.A. Vliyanie vozdukhopronitsaemosti na proektirovanie sistem klimatizatsii [The Influence of Breathability on the Design of Air Conditioning Systems]. *AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika – AVOK: Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics*, 2003, No. 2, pp. 32-37. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=1987 (accessed 21.01.2019) [in Russian].

7. Malakhov M.A. Sistemy estestvenno-mekhanicheskoi ventilyatsii v zhilykh zdaniyakh s teplymi cherdakami [Natural Mechanical Ventilation Systems in Residential Buildings with Warm Attics]. *AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika – AVOK: Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics*, 2006, No. 7, pp. 8-19. [in Russian].

8. Lstiburec J.L. *Building Science Corporation*. Wesford, Mass.

9. Hutcheon N.B., Handegord G.O.P. *Building Science for a Cold Climate*. New York City, Wiley, 1983. 440 p.

10. *Air Leakage Characteristics, Test Methods and Specifications for Large Buildings*. CMHC Technical Series 1-800-668-2642.

11. Persily A.K. NISTIR 4821. Envelope Design Guidelines for Federal Office Buildings: Thermal Integrity and Airtightness. Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 1993. 234 p.

Сведения об авторах

About the authors

Клявлин Марс Салихович, д-р хим. наук, профессор, профессор кафедры «Водоснабжение и водоотведение», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Mars S. Klyavlin, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor of Water Supply and Drainage Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: mars_kljavlin@mail.ru

Халфина Диана Альбертовна, аспирант кафедры «Общая, аналитическая и прикладная химия», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Diana A. Khalfina, Post-graduate Student of General and Analytical Chemistry Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: d.a.khalfina@mail.ru

Клявлиная Яна Марсовна, канд. экон. наук, доцент кафедры экономики и управления на предприятии нефтяной и газовой промышленности, УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Yana M. Klyavlina, Candidate of Economic Sciences, Assistant Professor of Enterprise Economics and Management in the Oil and Gas Industry Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: yana_klyavlina@mail.ru

Талипов Рустем Альфирович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Водоснабжение и водоотведение», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Rustem A. Talipov, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Water Supply and Drainage Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: talip2@yandex.ru