МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ СССР

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
САНИТАРНОЙ ТЕХНИКИ

В. Е. КОНСТАНТИНОВА, канд. техн. наук

ВОЗДУШНО-ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ
Москва—1969

В книге приведены результаты исследований воздухообмена в зданиях повышенной этажности, полученные на основании натурных наблюдений, а также расчетов методами математического моделирования. Разработаны рекомендации по выбору планировочных решений, по вопросам проектирования вентиляции и по расчету добавочных теплопотерь на инфильтрацию наружного воздуха для жилых зданий высотой 9—16 этажей с учетом результатов исследований воздухообмена в зданиях. Приведены результаты исследования потокораспределения в системах водяного отопления зданий с помощью электронных вычислительных машин. Разработаны предложения по частичному изменению методики расчета надбавок на инфильтрацию, по расчету системы естественной вентиляции и уточнению графика регулирования отпуска тепла, направленные на экономию расхода тепла в зданиях.

Работа в значительной степени посвящена исследованиям и рекомендациям применительно к жилым зданиям. Однако она содержит также сведения, которые могут быть использованы при проектировании зданий другого назначения (расчет систем вентиляции при различных сочетаниях объемов приточного и вытяжного воздуха, расчет добавочных теплопотерь для тех же случаев и пр.).

Книга рассчитана на инженеров-проектировщиков, занимающихся разработкой планировочных решений и вопросами расчета систем отопления и вентиляции в зданиях повышенной этажности, а также специалистов, занимающихся вопросами эксплуатации указанных зданий.

Таблиц — 23, иллюстраций — 39, библиография — 44 названия.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В Москве, Ленинграде, Киеве и других крупных городах Советского Союза в последние годы получило широкое развитие строительство зданий высотой девять и более этажей.

Одной из особенностей таких зданий является сложный характер происходящего в них воздухообмена, определяемый не только работой систем вентиляции, но и целым рядом других факторов, в число которых входят гравитационное давление в самом здании, внутренняя планировка здания, воздухопроницаемость его наружных и внутренних ограждений и т. д. Неправильный расчет общего воздухообмена в зданиях повышенной этажности или недооценка его значения могут привести к существенному ухудшению состояния воздушной среды и микроклимата в отдельных помещениях (поступление значительных масс отработанного воздуха, явления «дутья», понижения температуры ограждений и пр.), а также к перерасходу тепла на подогрев избыточных количеств инфильтрующего воздуха. Это особенно существенно для жилых зданий, оборудованных системами естественной вытяжной вентиляции, поскольку воздухообмен в таких зданиях в наибольшей степени зависит от принятых планировочных решений, воздухопроницаемости ограждений, схем вентиляции и климатических условий местности, в которой расположено здание.

В книге приведены разработки автора по составлению схемы аэродинамической сети здания, а также по определению величин и размещению в схеме источников давления. Эти разработки базируются на отечественной теории естественного воздухообмена, созданной П. Н. Каменевым, В. В. Батуриным и И. Ф. Ливчаком.

Работа выполнялась в основном в лаборатории применения и внедрения отопительных устройств жилых и общественных зданий Научно-исследовательского института санитарной техники Министерства промышленности строительных материалов СССР.

В выполнении работы принимали участие канд. техн. наук В. Ф. Поликарпов (НИИ санитарной техники), инженеры В. М. Иванов, Г. К. Первой и Г. А. Синицын (МНИИТЭП), Е. А. Белинкий и Э. С. Цысковский (ЛенЗНИИЭП), Д. Л. Гом-

берг, Ю. Л. Попов и Т. Л. Сумбатьянц (Моспроект-II), К. С. Светлов (Сибирский энергетический институт АН СССР). Разработка и исследование дросселирующих вентиляционных решеток выполнены канд. техн. наук Г. Г. Шамциян. Программу для расчета потокораспределения в системах водяного отопления на ЭВМ «Урал-3» составил канд. техн. наук Ю. А. Крюков. Расчеты воздухообмена на электроаналоговой установке ЭМВС-6 выполнил инж. Д. П. Воронцов.

Автор выражает признательность канд. техн. наук. И. Г. Сенатову за ценные указания, сделанные при рецензировании рукописи.

ГЛАВА I

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДУХООБМЕНА В ЗДАНИЯХ

1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования воздухообмена в зданиях повышенной этажности начались со времени возведения в Москве первых высотных зданий (1949—1953 гг.). Эти исследования, проводившиеся на натурных объектах, позволили дать оценку и проанализировать недостатки воздухообмена в зданиях повышенной этажности в условиях II климатической зоны Советского Союза. Кроме того, в результате этих исследований была разработана методика определения общей схемы движения воздушных потоков в здании.

Созданная под руководством Б. Ф. Васильева [4] эта методика до сих пор эффективно используется для исследования воздухообмена в зданиях. В соответствии с этой методикой замеряют перепады давлений у отдельных элементов наружных и внутренних ограждений здания (у обращенных на разные стороны света окон помещений разных этажей, у входов в здание, в квартиры и пр.), а также температуры наружного воздуха и воздуха в отдельных помещениях здания (в квартирах, лестничных клетках и пр.). Используя эти замеры, строят эпюру избыточных давлений и схему движения основных воздушных потоков внутри здания. Помимо этого исследуют воздухопроницаемость элементов ограждающих конструкций здания (окон, дверей, стыковых соединений стен и пр.), а также проводят целый ряд сопутствующих замеров (расходов воздуха в вытяжных и приточных отверстиях систем вентиляции, влажности и скорости движения воздуха внутри отдельных помещений и т. д.).

Широко применяемый рядом исследователей, особенно врачами-гигиенистами, антракометрический способ определения воздухообмена отдельных помещений путем исследования падения во времени концентрации CO_2 или радиоактивных веществ не дает всесторонней оценки состояния воздушной среды. Недостаток этого способа заключается в том, что он не позволяет опре-

делить, откуда поступает в помещение воздух и каким образом он удаляется — через наружные или внутренние ограждения помещения, через вентиляционную систему и пр. Таким образом, при этом способе определения воздухообмена возможность изучения схемы движения воздушных потоков в помещении или здании исключается. Поэтому его целесообразно применять лишь в комплексе с исследованием распределения избыточных давлений.

Следует отметить, что в квартирах с посемейным заселением двери в коридор из всех помещений, кроме санитарного узла, как правило, бывают открыты. В этих условиях перепады давлений по обе стороны обращенных на одну сторону света окон одной и той же квартиры весьма близки между собой. В связи с этим для определения перепадов давлений у наружных ограждений квартиры достаточно замерять их только у одного из окон одинаковой ориентации. То же самое относится и к любой группе помещений внутри здания, соединенных открытыми проемами либо дверями. Одновременно с перепадами давлений замеряется температура воздуха в помещении и температура наружного воздуха.

Результаты замеров могут быть представлены в виде графиков, причем по оси ординат откладываются высоты точек замера, а по оси абсцисс — замеренные разности давлений внутреннего и наружного воздуха или внутренние избыточные давления. Нулевому давлению при этом соответствует давление наружного воздуха на соответствующем уровне. Через каждую точку замера проводится наклонная линия, показывающая распределение давлений в пределах помещения, в котором был произведен замер. Угол наклона линии давлений к оси ординат соответствует изменению разности давлений внутреннего и наружного воздуха по высоте данного помещения. Разность давлений в точке замера и в любой другой точке помещения определяется по формуле

$$\Delta p = (h - h_{зам})(\gamma_н - \gamma_в) \text{ мм вод. ст.},$$

где h и $h_{зам}$ — высоты соответственно данной точки и точки замера в *м*;

$\gamma_н$ и $\gamma_в$ — объемные веса соответственно наружного и внутреннего воздуха при замеренных температурах в $кГ/м^3$.

Эпюра давлений в лестничных клетках и других помещениях, в которых замер производится на нескольких уровнях, получается путем непосредственного соединения прямыми точек замера перепадов давлений у наружных ограждений этих помещений.

Используя полученную эпюру давлений, легко построить общую схему движения воздушных потоков в здании, поскольку известно, что воздух перемещается от мест с бóльшим давлением к местам с относительно меньшим давлением. Однако при этом

следует иметь в виду, что непосредственное определение направления воздушных потоков на основании полученных при таких замерах эпюр распределения давлений возможно только в случае, когда скорость ветра во время замеров невелика (практически не более 2 *м/сек*)или же все наружные ограждения, у которых замеряются перепады давлений, обращены на одну сторону света. При более высоких скоростях ветра давление наружного воздуха у различно ориентированных сторон здания различно и, следовательно, сопоставление замеренных величин разности давлений у наружных ограждений не может быть непосредственно использовано для определения направления воздушных потоков внутри здания. В этом случае необходимо установить разности давлений внутреннего и наружного воздуха относительно какой-либо одной (наветренной или заветренной) стороны здания.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты натурных исследований воздухообмена в зданиях повышенной этажности, построенных в Москве в период 1949—1953 гг., приведены на рис. 1—5.

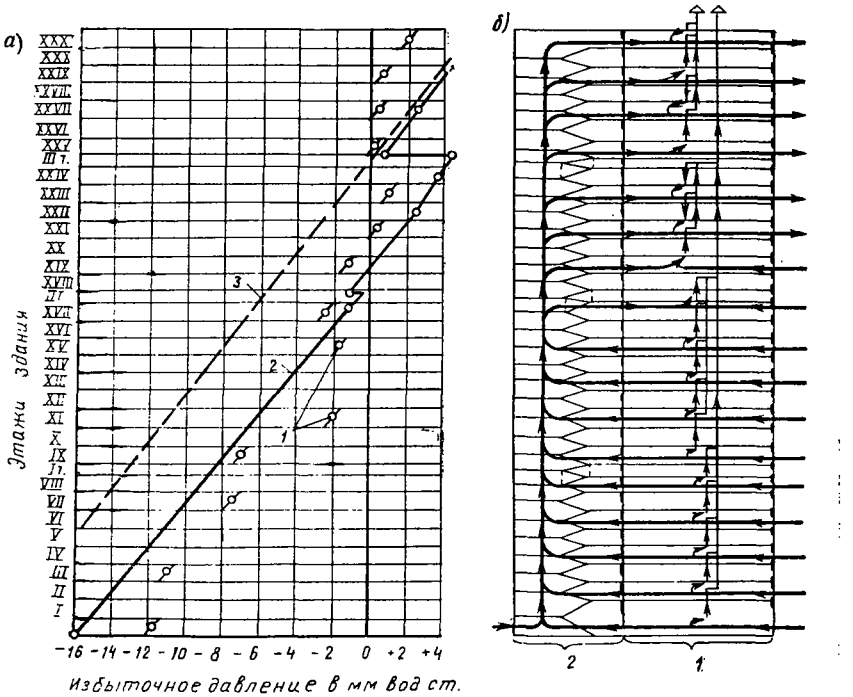


Рис. 1. Результаты натурных замеров в корпусе А высотного здания на Котельнической набережной ($t_н$ = —22° С; штиль)

а — эпюра избыточных давлений; *б* — схема движения воздушных потоков; *1* — квартиры; *2* — лестничная клетка; *3* — лифтовая шахта

На рис. 1 приведены результаты замеров в высотной (31-этажной) части жилого здания на Котельнической набережной, 15. Эта часть здания представляет собой башню, этажи которой сообщаются лестницей и двумя лифтовыми шахтами. Лестничная клетка имеет шлюзы на уровне I, II и III технических этажей. Система вентиляции вытяжная трехзональная

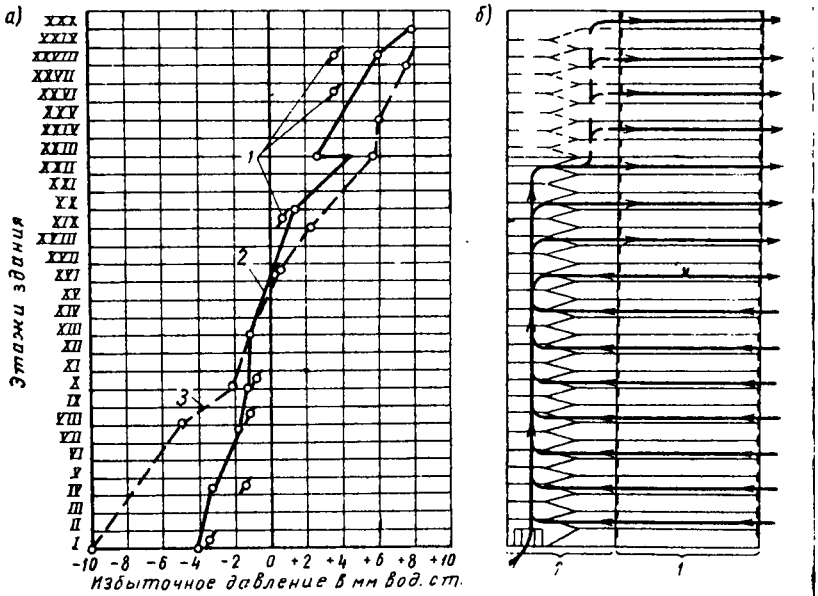


Рис. 2. Результаты натурных замеров в центральной части здания МГУ на Ленинских горах ($t_н = -8°$ С; $v_в = 2$ *м/сек*)

а — эпюра избыточных давлений; *б* — схема движения воздушных потоков; *1* — аудитории; *2* — лестничная клетка; *3* — лифтовая шахта

с перепусками через два этажа; в вытяжных шахтах установлены осевые вентиляторы на вертикальной оси, однако практически система работает только как естественная.

На рис. 2 приведены результаты замеров в центральной (30-этажной) части здания МГУ на Ленинских горах. Эта часть здания имеет развитый нижний объем до 18-го этажа) и верхнюю часть в виде башни. Лестничная клетка на уровне потолка 22-го этажа имеет переход на другую лестничную клетку. Система вентиляции механическая приточно-вытяжная.

На рис. 3 приведены результаты замеров в общежитии (18-этажная часть) МГУ на Ленинских горах. Эта часть здания состоит из жилых комнат, выходящих в коридоры, объединенные поэтажно лестничной клеткой и лифтовыми шахтами. На уровне IX этажа лестничная клетка имеет шлюз. Система венти-

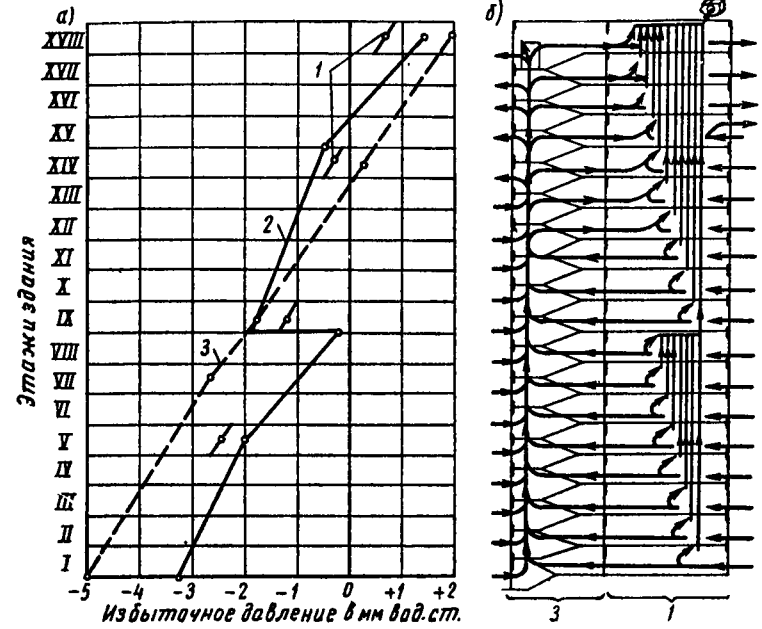


Рис. 3. Результаты натурных замеров в общежитии здания МГУ на Ленинских горах ($t_н$ = —8° С; $v_в$ = 2 *м/сек*)

а — эпюра избыточных давлений; *б* — схема движения воздушных потоков; *1* — жилые комнаты; *2* — лестничная клетка; *3* — лифтовая шахта

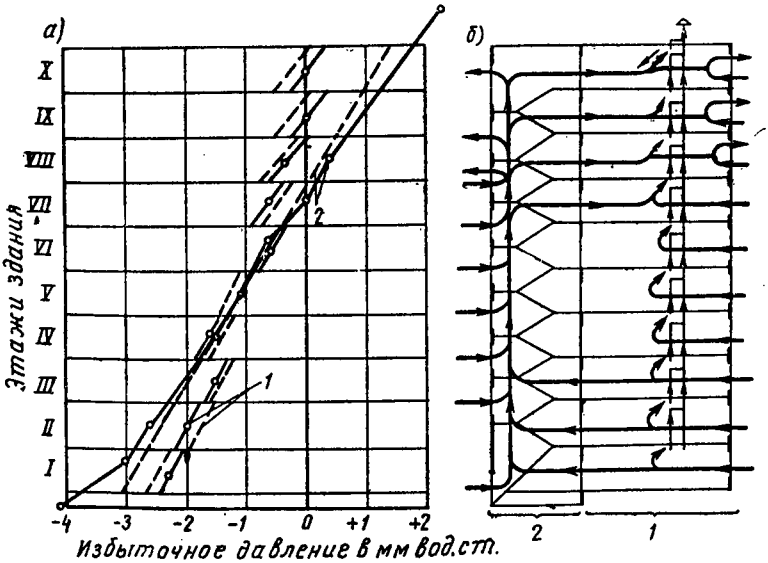


Рис. 4. Результаты натурных замеров и расчета воздухообмена в жилом доме МГУ на Ленинских горах ($t_н$ = —19,4° С; $v_в$ = 1,2 *м/сек*; ——— натурные данные; — — — — расчетные данные)

а — эпюра избыточных давлений; *б* — схема движения воздушных потоков; *1* — квартиры; *2* — лестничная клетка

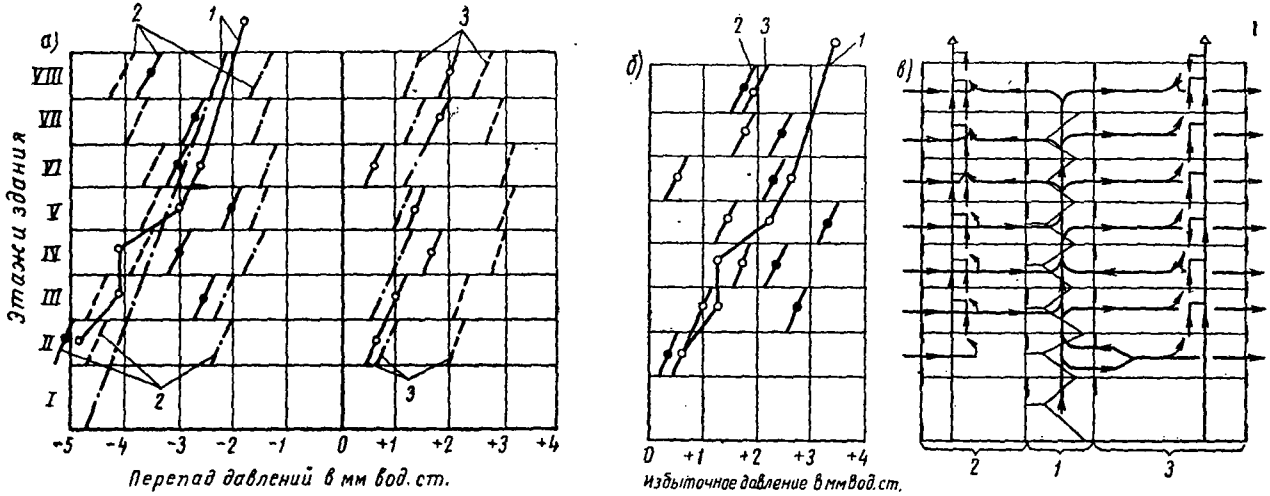


Рис. 5. Результаты натурных замеров и расчета воздухообмена в корпусе В высотного здания на Котельнической набережной ($t_н = -6°$ С; $v_в = 6 \div 9$ *м/сек*; ———— натурные данные; — — — расчетные данные при $v_в = 9$ *м/сек*; — · — · — · — · — то же, при $v_в = 6$ *м/сек*)

а — эпюра перепадов давлений внутреннего и наружного воздуха на наветренной и заветренной сторонах здания; *б* — эпюра избыточных давлений относительно заветренной стороны здания; *в* — схема движения воздушных потоков; *1* — лестничная клетка; *2* — квартиры наветренной стороны; *3* — квартиры заветренной стороны

ляции механическая вытяжная; приток естественный через подоконные приточные устройства в жилых комнатах.

На рис. 4 приведены результаты замеров в жилом доме (10-этажная секция) МГУ на Ленинских горах. На каждом этаже имеется четыре квартиры. Лестничная клетка и лифтовые шахты сквозные на всю высоту секции. Система вентиляции естественная вытяжная в виде каналов с перепусками через два этажа.

На рис. 5 приведены результаты замеров в 8-этажной секции жилого дома на Котельнической набережной, 15, корпус В. Так же как и в предыдущем здании, секция имеет четыре квартиры на этаже, сквозные лестничную клетку и лифтовые шахты на всю высоту здания. Система вентиляции естественная вытяжная с раздельными вертикальными каналами, объединенными на чердаке в сборную шахту.

Анализируя данные, представленные на рис. 1—5, можно видеть, что во всех обследованных зданиях наблюдается сходная схема движения воздушных потоков: из помещений нижних этажей воздух поступает в лестничные клетки и, поднимаясь по ним (а также по лифтам и другим вертикальным шахтам здания), перетекает в помещения верхних этажей. Одновременно в вертикальные шахты, сообщающиеся с атмосферой, инфильтруется наружный воздух через входные двери и окна нижней части здания. По внутренним лестничным клеткам и лифтовым шахтам, не сообщающимся непосредственно с атмосферой, перетекает только отработанный воздух нижних этажей.

Такая схема распределения воздушных потоков создает весьма неблагоприятные гигиенические условия для проживающих в верхних этажах зданий. Во всех обследованных зданиях через окна квартир верхних этажей (при малой скорости ветра) происходит эксфильтрация внутреннего воздуха. Следовательно, воздух в эти квартиры поступает только через лестничные клетки и лифтовые шахты, куда, в свою очередь, поступает отработанный воздух нижних этажей. В зданиях, оборудованных вентиляционными каналами с перепусками (см., например, рис. 1 и 4), положение усугубляется тем, что вентиляционные каналы верхних этажей дают опрокинутую тягу, т. е. через них в квартиры верхних этажей поступает вытяжной вентиляционный воздух из квартир нижних этажей. Все эти явления связаны с прониканием в квартиры верхних этажей пыли, запахов и других вредностей, а также с повышенной бактериальной загрязненностью воздуха в них.

Из неблагоприятных факторов, обусловленных подобной схемой воздухообмена, следует отметить также повышенную величину инфильтрации наружного воздуха в нижних этажах зданий. Для подогрева этого воздуха до температуры помещения требуются значительные надбавки к основным теплопотерям. Инфильтрация сопровождается понижением температуры внутренней поверхности наружных ограждений и сквозным проника-

нием холодного воздуха через их неплотности (в основном неплотности окон), что в комплексе создает ощущение «дутья» от наружных ограждений, особенно в тех случаях, когда прибор отопления не размещается непосредственно под окном. При такой схеме воздухообмена наблюдаются большие нагрузки на входные двери при их открывании в холодную погоду. Например, из рис. 1 видно, что разрежение в нижней части лестничной клетки здания на Котельнической набережной на уровне входа в здание при $t_н = -22°$ С составляет 16 *мм вод. ст.* (что соответствует нагрузке 8 *кГ* на 1 $м^2$ полотна двери для двух последовательно установленных дверей).

При значительных скоростях ветра (см. рис. 5) микроклимат помещений, расположенных на наветренной стороне здания, особенно в верхних этажах, резко меняется: происходит значительная инфильтрация воздуха в эти квартиры. Воздушно-тепловой режим нижних этажей, как правило, более устойчив. В особо высоких зданиях он меняется в основном с изменением температуры наружного воздуха.

Следует заметить, что описанная схема движения воздушных потоков наблюдается как при наличии в здании только естественной вытяжной вентиляции (см. рис. 1, 3, 4 и 5), так и при оборудовании здания механической приточно-вытяжной вентиляцией (см. рис. 2). Различие здесь состоит лишь в том, что при наличии в здании только естественной вытяжной вентиляции в нижних этажах здания (при прочих равных условиях) наблюдаются большие величины разрежения и соответственно большие объемы инфильтрующегося наружного воздуха. Отличием этих двух способов вентиляции является, разумеется, тот факт, что при отсутствии организованного притока поступление воздуха в верхние этажи здания осуществляется только вследствие его внутреннего перетекания в пределах здания, в то время как организованный приток обеспечивает подачу во все помещения предварительно обработанного наружного воздуха.

Однако весьма существенным является то обстоятельство, что организованный приток воздуха в помещения не только не избавляет от перетекания воздуха внутри здания из нижних этажей в верхние, а, напротив, усиливает такое перетекание. Количественные данные, подтверждающие это положение, полученные в результате исследований воздухообмена методами математического моделирования, приведены далее на стр. 87.

Подводя итоги сказанному, можно отметить, следующие недостатки схемы воздухообмена в зданиях повышенной этажности периода строительства 1949—1953 гг.:

1) неудовлетворительное состояние воздушной среды верхних этажей жилых зданий вследствие поступления в них отработанного воздуха нижних этажей;

2) нарушение комфортного микроклимата нижних этажей из-за повышенной инфильтрации наружного воздуха;

3) перерасход тепла на отопление зданий в связи с избыточными количествами инфильтрующегося воздуха;

4) неудовлетворительная работа систем естественной вытяжной вентиляции со значительно пониженными против нормативных расходами воздуха в верхних этажах (вплоть до опрокидывания тяги), с недостаточной устойчивостью и повышенными против нормативных расходами воздуха в нижних этажах.

Описанные недостатки схемы воздухообмена, выявленные натурными обследованиями первых зданий повышенной этажности, привели к необходимости поисков других, более благоприятных в гигиеническом отношении и достаточно экономичных решений. Наряду с широкими исследованиями воздухообмена методами математического моделирования натурные обследования позволили наметить и осуществить комплекс мероприятий, обеспечивающих рациональные схемы воздухообмена в зданиях. Основные рекомендации, связанные с осуществлением этого комплекса, излагаются ниже.

В качестве доказательства возможности осуществления значительно улучшенной схемы воздухообмена остановимся на результатах натурных обследований одного из зданий повышенной этажности другого периода строительства — 1966 г.

В этом здании, запроектированном Московским институтом типового и экспериментального проектирования (МНИИТЭП), в значительной степени учтен комплекс конструктивно-планировочных мероприятий, направленных на нормализацию воздухообмена в жилых зданиях повышенной этажности, и улучшена схема вентиляции.

Основная особенность планировки этого здания заключается в поэтажном отделении лестнично-лифтового узла дверями от коридоров, в которые выходят квартиры. Основная особенность схемы вентиляции состоит в осуществлении естественного (гравитационного) притока подогретого воздуха в нижнюю зону лестничной клетки (непосредственно над входом в здание). Основная конструктивная особенность системы естественной вытяжной вентиляции — выполнение косых каналов с перепуском через пять этажей и раздельных вентиляционных каналов в верхних пяти этажах здания.

Принципиальное отличие схем распределения давлений и воздушных потоков для этого здания (рис. 6) от схем воздухообмена, представленных ранее (см. рис. 1—5), состоит в том, что лестничная клетка в данном случае превратилась в резервуар свежего воздуха, не загрязняемого воздухом из квартир. Этого удалось достичь путем отделения лестнично-лифтового узла дверями от коридоров, в которые выходят квартиры, и устройства притока подогретого наружного воздуха в нижнюю часть лестничной клетки. Кроме того, в квартирах всех этажей, включая самые верхние, наблюдается инфильтрация наружного воздуха, что также значительно улучшает состояние

воздушной среды верхних этажей. Это достигнуто путем лучшего конструктивного выполнения каналов естественной вытяжной вентиляции, а также путем лучшей воздухоизоляции наружных и внутренних ограждений в целом по зданию.

В качестве недостатка представленной на рис. 6 схемы воздухообмена следует отметить значительные разрежения в квартирах нижних этажей и, как следствие, повышенную инфильт-

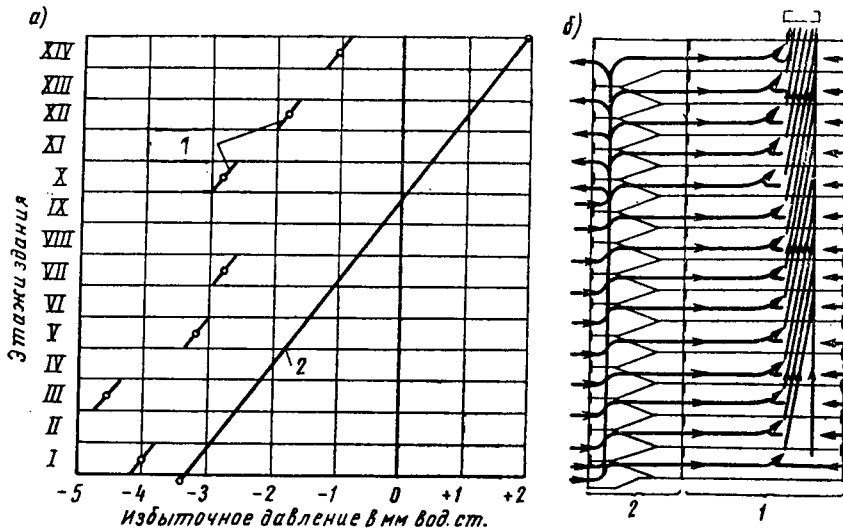


Рис. 6. Результаты натурных замеров в корпусе 19 10-го квартала Новых Черемушек ($t_н = -13°$ С; $v_в = 1$ *м/сек*)

а — эпюра избыточных давлений; *б* — схема движения воздушных потоков; *1* — квартиры; *2* — лестнично-лифтовой узел

рацию в них наружного воздуха. Это связано с некоторой неравномерностью работы системы вентиляции по этажам. Для устранения этого недостатка следовало бы предусмотреть в проекте монтажное дросселирование вытяжных отверстий нижних этажей.

Натурные обследования показали значительное влияние качества строительства на воздухообмен в зданиях повышенной этажности. Так, при обследовании ряда жилых домов высотой 12 и более этажей, возведенных в 1966—1967 гг. в Москве, выявлены следующие существенные дефекты строительства, нарушающие предусмотренную проектами схему воздухообмена в этих зданиях: плохое качество прокладок на окнах, отсутствие поэтажных диафрагм в санитарно-технических шахтах, неправильное присоединение вентиляционных каналов санитарных узлов. Эти дефекты вызывают соответственно повышенную инфильтрацию

наружного воздуха через окна и снижение температуры отдельных помещений, значительную тягу воздуха с нижних этажей через санитарно-технические шахты, отсутствие вентиляции санитарных узлов и другие нарушения общей схемы воздухообмена.

В целях обеспечения нормального микроклимата и надлежащего состояния воздушной среды в зданиях повышенной этажности следует резко повысить требования к качеству строительства этих зданий. При этом особо серьезное внимание должно быть обращено на тщательную воздухоизоляцию наружных ограждений (заделка стыков, уплотнение мест примыкания к стене оконной коробки, высокое качество крепления прокладок в притворах окон и балконных дверей), на изоляцию санитарно-технических шахт и установку в них поэтажных диафрагм, на выполнение систем вентиляции в строгом соответствии с проектом.

ГЛАВА II

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА В ЗДАНИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ И ИХ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ВЫРАЖЕНИЕ

1. СХЕМА АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ СЕТИ ЗДАНИЯ

Здание повышенной этажности может быть представлено как единая сложная аэродинамическая система, состоящая из многочисленных путей, по которым перемещается воздух, и источников энергии, вызывающих это перемещение. Строго говоря, путями перемещения воздуха являются все помещения, вентиляционные каналы, вентиляционное оборудование и ограждающие конструкции (окна, двери, стены, перекрытия, перегородки) здания.

Для возможности математического описания этой аэродинамической системы необходимо прежде всего составить схему ее сети.

Пути, по которым перемещается воздух, должны быть представлены в схеме в виде участков, сходящихся в определенных узловых точках, именуемых в дальнейшем узлами сети.

Под участком мы понимаем элемент, представляющий сопротивление для движущегося воздушного потока и имеющий постоянный расход воздуха на всем своем протяжении. Узлы сети обозначают в схеме воздушные объемы, в которых сходятся два или более участка сети. Потери давления при движении воздуха внутри узла независимо от количества проходящего через него воздуха весьма малы.

Узлами сети в зданиях являются отдельные помещения (комнаты, цеха, коридоры, лестничные клетки, группы помещений, сообщающиеся большими открытыми проемами, например помещения квартиры посемейного заселения при закрытых окнах и балконных дверях), вентиляционные камеры, воздуховоды, а также наружный воздух, окружающий здание.

Следует заметить, что один и тот же воздушный объем не всегда может рассматриваться в качестве узла сети, поскольку не при всех условиях можно пренебречь потерями давления внутри него. Это зависит прежде всего от возможной в задаче скорости перемещения воздуха через данный объем, поскольку она определяет распределение статического давления и в значительной степени потери на местные сопротивления и трение внутри узла. Так, помещения жилых и общественных зданий, а также холодные цеха промышленных зданий даже с весьма большой кратностью обмена воздуха (до 20) обычно представляют собой объемы, в которых практически соблюдается указанное выше условие распределения давления воздуха, и поэтому могут рассматриваться как узлы сети. Что же касается воздуховодов и вентиляционных камер, то возможность рассмотрения их в качестве узлов сети зависит от конкретных условий расчета.

В случае, если воздушный объем, в котором сходятся два или более участка, в связи с существенной зависимостью потерь давления от расхода среды не может рассматриваться как узел сети, следует выделить в нем отдельные участки и включить их в общую схему.

В состав узла сети входят ветви, присоединяющие отдельные участки. Ветви сходятся в общую точку или общую ветвь (ствол) узла. Общая точка и ствол узла не имеют определенной отметки, а иногда и определенного положения в пространстве (например, атмосферный воздух на наветренной и заветренной сторонах здания). Ветви же узлов, напротив, характеризуются заданной отметкой и положением в пространстве.

Помимо определения узлов сети весьма важным для составления схемы аэродинамической сети здания является правильное выделение участков сети, не загромождающее схему и в то же время учитывающее все элементы сопротивлений, практически влияющие на распределение воздушных потоков. При этом из рассмотрения исключаются элементы как с весьма малыми, так и с весьма большими сопротивлениями. Первые в соответствии с изложенным выше включаем в узлы сети. Вторые могут рассматриваться как глухие участки, через которые не происходит движения воздуха. Решение вопроса о том, какие элементы могут быть отнесены к глухим участкам, подобно решению вопроса о выделении узлов сети зависит от конкретных условий расчета.

Так, при составлении схемы аэродинамической сети про-

мышленного здания с большими открытыми проемами целесообразно учитывать в схеме только открытые окна, открытые фрамуги, двери и вентиляционные каналы, а стеновые конструкции, перегородки, перекрытия, закрытые окна и фрамуги считать глухими участками и исключать из рассмотрения.

При исследовании воздухообмена и инфильтрации в здании, не имеющем открытых проемов, но без специальной герметизации окон целесообразно учитывать в схеме неплотности закрытых окон, дверей, вентиляционные каналы, иногда стыки стеновых панелей, а массивы стен, перегородки и перекрытия считать сплошными участками и в схему не включать.

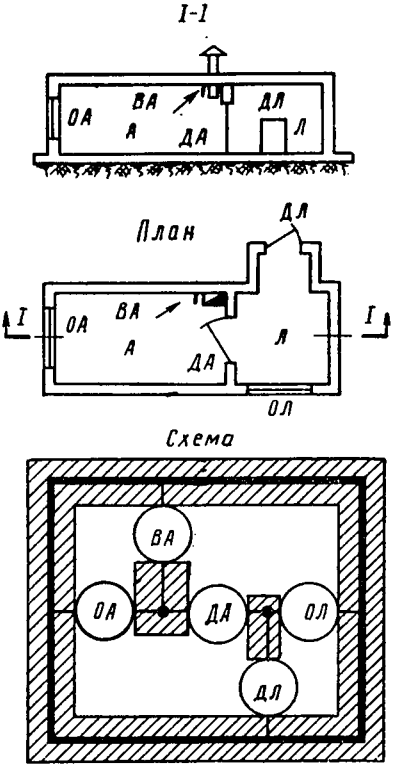


Рис. 7. Простейшая схема аэродинамической сети одноэтажного здания

Наконец, если рассматривается здание с герметизированными ограждающими конструкциями, может оказаться целесообразным включение в аэродинамическую схему в качестве элементов сопротивлений наряду с вентиляционной системой и неплотностями окон и дверей также массивов стен, перегородок, перекрытий.

Простейший пример составления схемы аэродинамической сети одноэтажного здания приведен на рис. 7. Здание состоит из помещения *А* и входного вестибюля (лестничного помещения) *Л*. Помещение *А* оборудовано одним каналом естественной вытяжной вентиляции. В число участков схемы в данном случае могут быть включены окно помещения *А*, окно помещения *Л*, дверь помещения *А*, дверь помещения *Л*, вытяжной канал помещения *А*. Обозначаем эти элементы соответственно следующим образом: *ОА*, *ОЛ*, *ДА*, *ДЛ*, *ВА*. Узлами сети в рассматриваемом случае окажутся помещение *А*, помещение *Л* и внешний узел (атмосфера). При этом к узлу помещения *А* подключаются элементы *ОА*, *ДА* и *ВА*, к узлу помещения *Л* — элементы *ДЛ*, *ДА* и *ОЛ*, к внешнему узлу — элементы *ОА*, *ОЛ*, *ВА* и *ДЛ*. В составленной в соответствии с этими указаниями схеме, приведенной на рис. 7, участки изображены кружками,

узлы сети — заштрихованными площадками, общая ветв (ствол) внешнего узла выделен жирной линией, общие точк узлов помещений *А* и *Л* выделены жирными точками, ветв узлов обозначены тонкими линиями.

В любой схеме аэродинамической сети можно выделить ря контуров, понимая под контуром замкнутую цепь внутри схемы состоящую из последовательно расположенных участков, вет вей, присоединяющих эти участки, и отрезков стволов, соединя ющих ветви. Следует различать зависимые и независимые кон туры сети. Независимым является контур, имеющий хотя бы один участок, не входящий в другие контуры сети. Зависимый контур таких участков не имеет.

В схеме, представленной на рис. 7, можно выделить, напри мер, следующие контуры: *ОА-ДА-ДЛ-ОА* (контур I); *ОЛ-ДЛ-ОЛ* (контур II); *ВА-ОА-ВА* (обход по левой части ствола внешнег узла — контур III); *ВА-ОЛ-ДА-ВА* (контур IV); *ВА-ДЛ-ДА-ВА* (контур V); *ВА-ОА-ВА* (обход по правой части ствола внешне го узла — контур VI); *ОЛ-ОА-ДА-ОЛ* (контур VII). Среди эти контуров в качестве независимых могут рассматриваться кон туры I, II, IV, а в качестве зависимых — контуры III, V VI, VII.

Система контуров может быть представлена иначе. Напри мер, в качестве независимых могут быть приняты контуры V VI, VII, тогда остальные контуры окажутся зависимыми. Но как бы мы ни рассматривали систему контуров, число независимых контуров остается постоянным. В нашем случае оно равно трем. При расчете схемы аэродинамической сети нас интересуют толь ко независимые контуры сети. Между числом независимых контуров, числом узлов и числом участков сети существует строго определенное соотношение:

$$r = k + q - 1, \qquad (1)$$

где r — число участков;
k — число независимых контуров;
q — число узлов сети.

Движение воздуха в аэродинамической системе здания по вышенной этажности происходит под воздействием многих фак торов. К их числу относится прежде всего гравитационное дав ление, т. е. давление, возникающее вследствие разности темпе ратур воздуха внутри и снаружи здания, а также разности температур в сообщающихся между собой помещениях и вен тиляционных каналах здания. Вторым важнейшим фактором, обусловливающим воздухообмен, является давление ветра, третьим — работа вентиляционного оборудования с механи ческим побуждением (вентиляторов).

В здании имеются и некоторые другие побудители движения воздуха: открывающиеся и закрывающиеся двери, движущиеся лифтовые кабины, нагревательные приборы и оборудование, вы-

ывающие конвективные токи воздуха, сосредоточенные воз-
ушные струи с высокими скоростями движения и пр. Их влия-
ие на характер движения воздуха и микроклимат отдельных
омещений здания может быть весьма значительным. Однако
ля этих побудителей характерно локальное воздействие, как
равило, ограниченное пределами одного помещения. В настоя-
ей работе влияние этих факторов не рассматривается.

Источники энергии, вызывающие воздухообмен, размещают-
я в узлах схемы аэродинамической сети. Они могут быть пред-
тавлены в виде заданных постоянных давлений, размещаемых
а отдельных ветвях узла, либо в виде заданных перепадов дав-
ений между отдельными ветвями одного и того же узла, либо
в виде постоянного расхода (приток или вытяжка) воздуха. Все
акторы, под влиянием которых происходит воздухообмен,
условимся называть в дальнейшем источниками. При расчете
етодами математического моделирования величины источни-
ков в большинстве случаев можно рассматривать в качестве гра-
ичных условий задачи. Методика расчета и размещения в схе-
ме источников освещена более подробно в п. 3 данной главы.

Порядок составления схемы аэродинамической сети здания
можно наметить следующий: 1) выявление расчетных участков
и узлов сети, а также возможностей упрощения схемы путем
бъединения последовательных и параллельных участков; 2) по-
строение схемы с включением в нее участков, узлов, ветвей
в соответствии с их расположением в заданном объекте; 3) рас-
чет характеристик участков; 4) размещение источников в узлах
схемы.

Математическое описание процесса движения воздуха в этой
схеме представляет собой систему из следующих уравнений:

а) уравнение движения воздуха по участкам сети

$$p_1 - p_2 = \Delta p = A'G + B'G^2; \qquad (2)$$

число уравнений равно числу участков сети;

б) уравнение узловых расходов

$$\Sigma G = 0 \text{ (для любого узла сети)}; \qquad (3)$$

число уравнений равно числу узлов сети;

в) уравнение контурных давлений

$$\Sigma (p_1 - p_2) = \Sigma H \text{ (для любого контура сети)}; \qquad (4)$$

число уравнений равно числу независимых контуров сети.

В уравнениях (2) — (4) приняты следующие обозначения:

p_1 и p_2 — давления соответственно в начале и в конце рассматриваемого участка;

Δp — потери давления на участке;

A' и B' — характеристики участка (или гидравлические сопротивления участка при перемещении единицы расхода);

G — весовой расход воздуха;

ΣH — сумма давлений, переданных в данный контур сети.

При составлении уравнения узловых расходов расход воз
ха, поступающего в данный узел, принимается со знаком пл
а расход воздуха, выходящего из узла, — со знаком минус. I
тери давления в контуре принимаются со знаком плюс д
участков сети, в которых воздух движется по часовой стрел
и со знаком минус для участков сети с движением воздуха п
тив часовой стрелки.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ УЧАСТКОВ СХЕМЫ

Приведем краткую сводку основных зависимостей для оп
деления коэффициентов A' и B' в уравнении (2) и их суммир
вания.

Закрытые окна:

$$A' = \frac{A}{F_o \gamma_o}; \quad B' = \frac{B}{F_o^2 \gamma_o^2},$$

где A и B — опытные коэффициенты, получаемые при испы
нии окон на воздухопроницаемость;
F_o — площадь окон в $м^2$;
γ_o — объемный вес воздуха, проходящего через ок
в $кГ/м^3$.

Коэффициенты A и B определяются на основании графи
ских зависимостей [32]:

$$A = f(i) \text{ и } B = f(i),$$

где i — коэффициент воздухопроницаемости окон в $м^3/м^2 \cdot ч$
$\times мм$ *вод. ст.*

Соотношение между величинами A, B и i может быть выр
жено в виде следующих зависимостей:

$$Ai + Bi^2 = 1; \quad (6$$

$$A = 6{,}12B + 37B^2. \quad (7$$

Величины i для окон различных типов в соответствии с ук
заниями СНиП II-В.6-62 приведены в приложении 1. Значени
максимально допускаемого коэффициента воздухопроницаем
сти окон $i_д$ при оборудовании зданий системами естественно
вытяжной вентиляции (без притока) приведены в приложении
(СНиП II-В.6-62). В приложении 3 дана зависимость коэфф
циентов A и B от величины i.

Открытые проемы:

$$A' = 0; \; B' = \frac{\zeta}{2g \cdot 3600^2 F^2 \gamma}, \quad (8$$

где ζ — коэффициент местного сопротивления;
F — площадь живого сечения проема в $м^2$;
γ — объемный вес воздуха в $кГ/м^3$.

Закрытые двери:

$$A'=0;\ B'=\frac{\Sigma\zeta}{2g\cdot 3600^2 F_{щ}^2\gamma}, \qquad (9)$$

де $\Sigma\zeta$ — сумма коэффициентов местного сопротивления при проходе воздуха через дверные щели, принимаемая при отсутствии уточненных данных для одинарных дверей равной 4, для двойных дверей равной 8;

$F_{щ}$ — суммарная площадь щелей в $м^2$.

Участки вентиляционных систем:

$$A'=0;\quad B'=S, \qquad (10)$$

де S — характеристика участка или сопротивление при перемещении единицы расхода в *мм вод. ст.* $\cdot\ ч^2/кГ^2$.

При известной потере давления Δp на участке для произольно заданного объемного расхода L в $м^3/ч$ (выбор его желательно сделать в пределах ожидаемой области расходов по данному участку) величина S может быть определена по формуле

$$S=\frac{\Delta p}{L^2\gamma^2}.$$

Массивные ограждения (массивы стен, перекрытия, перегородки):

$$A'=\frac{\Sigma R}{F};\ B'=0, \qquad (11)$$

де ΣR — сумма сопротивлений воздухопроницанию последовательно расположенных слоев ограждения в $м^2\cdot$ *мм вод. ст.* $\cdot\ ч/кГ$;

F — площадь ограждения в $м^2$.

Стыки стеновых конструкций:

$$A'=\frac{R_{ст}}{l_{ст}};\ B'=0, \qquad (12)$$

де $R_{ст}$ — сопротивление воздухопроницанию стыка в $м\cdot$ *мм вод. ст.* $\cdot\ ч/кГ$;

$l_{ст}$ — длина стыка в *м*.

При последовательном соединении элементов сначала определяют характеристики A' и B' каждого элемента, а затем их почленно суммируют.

При параллельном соединении элементов с квадратичной зависимостью типа $\Delta p=B'G^2$ сначала определяют характеристику B' каждого элемента, а затем характеристику эквивалентного участка $B'_{экв}$:

$$B'_{экв}=\frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{B'_1}}+\frac{1}{\sqrt{B'_2}}+\cdots+\frac{1}{\sqrt{B'_n}}\right)^2}, \qquad (13)$$

где $B'_1, \ldots, B'_n$ — характеристики параллельных элементов в *мм вод. ст.* $\cdot\ ч^2/кГ^2$.

При параллельном соединении элементов с двучленной висимостью типа $\Delta p = A'G + B'G^2$ или элементов, имеющих дв членную зависимость, с элементами, имеющими квадратичну зависимость, эквивалентные характеристики определяются гр фоаналитическим методом [14].

Эквивалентное сопротивление группы параллельных ок имеющих одинаковую воздухопроницаемость, а также груп открытых проемов или дверных щелей определяется путем н посредственного суммирования их площадей. Следует име в виду, что объединение параллельно расположенных элемент возможно только при условии равенства перепадов давлен у этих элементов.

В ряде случаев при расчете воздухообмена в зданиях цел группы помещений могут быть заменены одним эквивалентны помещением. Например, квартиры посемейного заселения с з крытыми окнами могут быть представлены как одно эквив лентное помещение. При этом площади окон, выходящих одну сторону света, суммируются. Санитарный узел (без ок имеющий закрытые двери и вытяжной канал, представляет в виде одного участка, объединяющего сопротивления двух п следовательно расположенных элементов — двери и вытяжно канала. Кроме того, этот участок может быть объединен с в тяжным каналом кухни, поскольку они работают параллельн Таким образом, квартира (или ряд квартир этажа) может бы представлена в схеме аэродинамической сети тремя-четырь участками.

В многоэтажных зданиях с типовыми этажами целесообра но объединение нескольких смежных по высоте этажей (чащ трех) в один эквивалентный этаж. При этом за эквивалентн внешнее давление для этого этажа принимают давление н уровне, расположенном на равном расстоянии от середины ок нижнего и верхнего объединенных этажей.

В результате таких упрощений число расчетных участк (и соответственно число неизвестных в системе уравнений) зн чительно сокращается.

На опыте расчета 16-этажного жилого здания были иссл дованы величины погрешностей, возникающих при таком об единении [31]. Они оказались равными 6% при объединени квартир типовых этажей и 12% при объединении каналов одн квартиры (выполненной по системе с перепусками). Следу заметить, что в указанном здании были предусмотрены разли ные сечения вытяжных каналов для кухни и санитарного уз квартиры. В случае, если они будут одинаковыми (а в насто щее время такой случай наиболее распространен в проектн практике), погрешность существенно уменьшится, так что т кое объединение можно считать приемлемым.

3. РАСЧЕТ И РАЗМЕЩЕНИЕ В СХЕМЕ ИСТОЧНИКОВ ДАВЛЕНИЙ И РАСХОДОВ

а) Гравитационное давление

Величина гравитационного давления $p_г$ прямо пропорциональна разности объемных весов воздуха в сообщающихся отверстиями воздушных объемах с различной температурой, а также разности высот этих отверстий.

В зданиях повышенной этажности воздушными объемами с различной температурой могут оказаться:

а) атмосфера и воздух в здании при работе систем отопления либо охлаждения; при этом под воздухом в здании следует понимать не только воздушные объемы отдельных помещений, но и воздух внутри вентиляционных систем;

б) воздух сообщающихся смежных помещений, например неотапливаемой или малоотапливаемой лестничной клетки и нормально отапливаемых основных помещений, выходящих в нее;

в) воздух внутри вентиляционной системы и в помещениях, сообщающихся с этой системой, при температуре воздуха в системе, отличной от температуры воздуха в помещениях (например, системы воздушного отопления, совмещенные с приточной вентиляцией, системы кондиционирования воздуха и пр.).

При аналитических расчетах аэрации в однопролетных и многопролетных промышленных цехах для определения избыточных давлений широко используется метод внутренних избыточных давлений П. Н. Каменева [9].

Под внутренним избыточным давлением понимают положительное или отрицательное (в частном случае нулевое) превышение давления воздуха внутри здания над давлением воздуха снаружи здания. При этом давление снаружи здания принимается постоянным на всех его уровнях, а давление внутри здания считается переменным по высоте. Избыточное давление в любой произвольно выбранной точке помещения (или узла в схеме аэродинамической сети) превышает избыточное давление в ниже расположенной точке помещения (или узла) на величину

$$\Delta p_{изб}^{внутр} = (\gamma_н - \gamma_в)(h_{верхн} - h_{нижн}) \qquad (14)$$

или

$$p_{изб.верхн}^{внутр} = p_{изб.нижн}^{внутр} + (\gamma_н - \gamma_в)(h_{верхн} - h_{нижн}), \qquad (15)$$

где

$\gamma_н$ и $\gamma_в$ — объемные веса соответственно наружного и внутреннего воздуха;

$h_{верхн} - h_{нижн}$ — разность отметок верхней и нижней точек помещения;

$p_{изб.нижн}^{внутр}$ и $p_{изб.верхн}^{внутр}$ — внутреннее избыточное давление соответственно в нижней и верхней точках помещения.

С помощью метода внутренних избыточных давлений можно представить распределение гравитационных давлений и в здании повышенной этажности. Мы уже использовали этот метод при построении эпюры давлений и схемы воздушных потоков в зданиях по результатам натурных замеров (см. рис. 1—6). Разберем его структуру несколько подробнее на примере эпюры внутреннего избыточного давления в шестиэтажном здании (рис. 8, *а*). В данном случае атмосферное давление (прямая *1*)

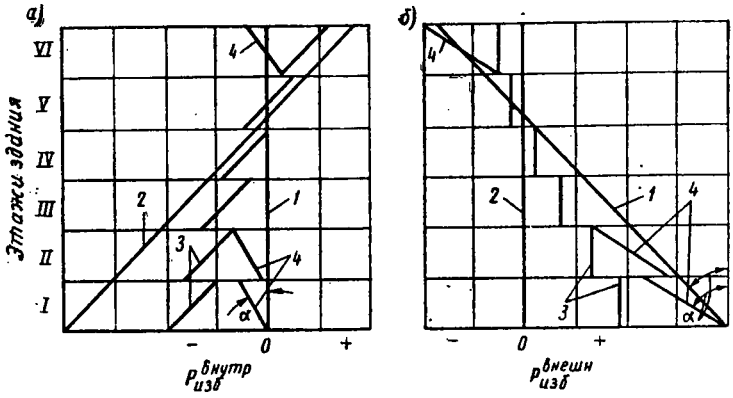


Рис. 8. Эпюры гравитационных давлений в здании

а — внутренние избыточные давления; *б* — внешние избыточные давления; *1* — атмосфера; *2* — лестничная клетка или лифтовая шахта; *3* — квартиры или другие основные помещения, температура воздуха в которых выше температуры наружного воздуха и равна температуре воздуха в лестничной клетке; *4* — квартиры или другие основные помещения, температура воздуха в которых ниже температуры наружного воздуха и отлична от температуры воздуха в лестничной клетке

на любом уровне здания совпадает с осью ординат, т. е. является нулевым. Давления внутри отдельных помещений здания (квартир, лестничной клетки и т. п.), температура в которых отлична от температуры наружного воздуха и постоянна по высоте, выражаются наклонными прямыми *2*, *3* и *4*. Вертикальная проекция этих прямых равна высоте помещения, а угол наклона их к оси ординат α определяется соотношением

$$\operatorname{tg}\alpha = \gamma_н - \gamma_в. \qquad (16)$$

С возрастанием разности температур и, следовательно, объемных весов наружного и внутреннего воздуха угол α возрастает. В случае, если температуры и объемные веса наружного и внутреннего воздуха равны, прямые, характеризующие избыточные давления в помещениях, окажутся параллельными оси ординат. Если температура внутреннего воздуха больше температуры наружного воздуха, прямые, характеризующие избыточные давления внутри помещений, наклонены в правую сторону

(прямые *2* и *3*), в противном случае они наклонены в левую сторону (прямые *4*).

Существует и другой способ определения гравитационных давлений в здании. При этом способе также используются избыточные давления, однако не как внутренние избыточные давления, а в прямо противоположной форме — как внешние избыточные давления.

Под внешним избыточным давлением понимают положительное или отрицательное (в частном случае нулевое) превышение давления воздуха снаружи здания и внутри него над давлением воздуха в одном из помещений здания, принятом на всех его уровнях за нулевое. При этом в качестве нулевого выбирают давление в таком помещении, которое сообщается с наибольшим числом других помещений разных этажей (или смежных помещений, если здание одноэтажное). Температуру воздуха в таком помещении назовем исходной.

Внешнее избыточное давление в любой произвольно выбранной точке атмосферы превышает давление в ниже расположенной точке на величину

$$\Delta p_{\text{изб}}^{\text{внешн}} = (\gamma_{\text{исх}} - \gamma_{\text{н}})(h_{\text{верхн}} - h_{\text{нижн}}) \qquad (17)$$

или

$$p_{\text{изб.верхн}}^{\text{внешн}} = p_{\text{изб.нижн}}^{\text{внешн}} + (\gamma_{\text{исх}} - \gamma_{\text{н}})(h_{\text{верхн}} - h_{\text{нижн}}), \qquad (18)$$

где $\gamma_{\text{исх}}$ — объемный вес воздуха при исходной температуре.

Такая же зависимость характерна для любого помещения или любой вентиляционной системы здания с температурой воздуха, отличной от исходной.

Эпюра внешних избыточных давлений в шестиэтажном здании приведена на рис. 8, *б*. По оси абсцисс здесь отложено внешнее избыточное давление. Давление внутри одного из помещений (в данном случае лестничной клетки) принято за нулевое на всех уровнях здания и поэтому совпадает с осью ординат (прямая *2*). Давление внутри других помещений здания с такой же температурой воздуха представлено прямыми, параллельными оси ординат и отстоящими от нее на расстояниях, равных перепадам давления в этих помещениях и лестничной клетке (прямые *3*). Давление внутри помещений, у которых температура воздуха отличается от исходной, изображается прямыми, наклоненными к оси ординат (прямые *4*).

Избыточное давление наружного воздуха при температуре его, отличной от исходной, изображается наклонной прямой *1*, вертикальная проекция которой равна высоте здания. Угол наклона прямых *1* и *4* к оси ординат α определяется соотношением

$$\operatorname{tg}\alpha = \gamma_{\text{исх}} - \gamma_{\text{д}}, \qquad (19)$$

помещения.

С возрастанием разности температур угол α возрастает.

Если температура наружного воздуха или воздуха данного помещения больше исходной, прямые, характеризующие внешние избыточные давления, наклонены в правую сторону, в противном случае они наклонены в левую сторону.

Метод фиктивных давлений, разработанный В. В. Батуриным для расчета аэрации промышленных зданий [1], предлагает, по существу, выражение гравитационных давлений в виде внешних избыточных давлений. Представленную на рис. 8, *б* эпюру внешних избыточных давлений можно рассматривать как эпюру гравитационных давлений в здании, выраженных через фиктивные давления.

Метод фиктивных избыточных давлений был предложен для возможности суммирования гравитационного давления и давления ветра, воздействующего на здания.

Однако ниже будет показано, что даже при наличии одного гравитационного давления определение внешних избыточных давлений при исследовании воздухообмена в зданиях повышенной этажности может оказаться более целесообразным, чем определение внутренних избыточных давлений. В то же время иногда даже при действии ветра расчет с помощью внутренних избыточных давлений является более целесообразным, чем расчет с помощью внешних избыточных давлений.

Ниже приводится попытка обобщить и преобразовать эти методы для расчета сложных схем аэродинамической сети зданий повышенной этажности. Задачей дальнейшего рассмотрения является прежде всего решение вопроса о том, какой из методов — внутренних или внешних избыточных давлений — целесообразнее применять при расчете той или иной схемы аэродинамической сети здания, а в случае использования внутренних избыточных давлений — в каком из внутренних узлов располагать источники давления. Затем необходимо определить, в каких именно случаях можно выразить все источники давлений в виде абсолютных величин и в каких случаях их можно выразить только через разность давлений. При этом следует иметь в виду, что сложная планировка зданий, сложные схемы вентиляционных систем, возможное различие температур воздуха в отдельных помещениях и системах, необходимость учета аэродинамических характеристик вентиляционного оборудования создают значительные трудности для такого определения. Наконец, нужно установить общие рекомендации для расчета и размещения в схеме источников давления при суммарном воздействии на воздухообмен ветра, гравитационного давления и работы вентиляционного оборудования.

Применяем для расчета способ фиксирования давлений по контурам. Рассмотрим его для случая, когда воздухообмен

в здании происходит под влиянием одного лишь гравитационного давления. Дополнительное влияние ветра и работы вентиляционного оборудования будет исследовано далее.

Гравитационное давление можно определить как разность давлений в кольце циркуляции. Под кольцом циркуляции понимается любой контур сети, имеющийся в рассматриваемой схеме аэродинамической сети.

В случае, когда температура среды (в нашем случае температура воздуха) во всех участках и узлах, через которые проходит данный контур сети, одинакова, либо когда все ветви контура располагаются на одном уровне, гравитационное давление в контуре отсутствует.

Оно будет отсутствовать также в случае, когда входящие в контур ветви располагаются на различных уровнях в узлах с разными температурами, но все заключенные между ними участки или элементы узлов имеют равную температуру.

Если входящие в контур ветви расположены на разных уровнях и заключенные между ними участки или элементы узлов имеют различную температуру, в контуре фиксируется гравитационное давление, величина которого определяется по выражению

$$p_г = \Sigma h_п \gamma_п - \Sigma h_л \gamma_л \text{ мм вод. ст.}, \qquad (20)$$

где $h_п$ и $h_л$ — разности отметок соседних ветвей соответственно в правой и левой части контура в *м*;

$\gamma_п$ и $\gamma_л$ — средние по соответствующей высоте ($h_п$ и $h_л$) объемные веса воздуха в $кГ/м^3$.

Чтобы определить, какие ветви относятся к правой, а какие к левой части контура, следует выделить в данном контуре участки, центры которых находятся на самом верхнем и на самом нижнем уровне. Вертикальные ветви, расположенные справа от этих участков, составляют правую часть контура, а слева от них — левую часть контура. Знак плюс перед величиной $p_г$ означает, что гравитационное давление в данном контуре вызывает перемещение воздуха по часовой стрелке, знак минус — перемещение воздуха против часовой стрелки. Гравитационное давление контура, определенное по уравнению (20), может быть в общем случае фиксировано произвольно в любом из узлов, которые входят в данный контур.

Следует обратить внимание, что уравнение (20) предусматривает фиксирование в каждом контуре только определенной разности давлений, а не их абсолютной величины. Во многих случаях (особенно при сложных схемах расчета) гравитационное давление по контурам целесообразно выражать через разность двух фиксированных в контуре абсолютных величин давлений

$$p_г = p_{i+1} - p_i. \qquad (21)$$

Если представить величину $p_г$ в виде разности величин $p_{верхн}$ и $p_{нижн}$, то при фиксировании величины $p_г$ в одном из узлов правой части контура положительное ее значение свидетельствует о нарастании давлений сверху вниз ($p_{верхн} < p_{нижн}$), отрицательное — о нарастании давлений снизу вверх ($p_{верхн} > p_{нижн}$). При фиксировании величины $p_г$ в левой части контура положительное ее значение свидетельствует о нарастании давлений снизу вверх ($p_{верхн} > p_{нижн}$), отрицательное — о нарастании давлений сверху вниз ($p_{верхн} < p_{нижн}$). Зная величину нижнего давления в контуре $p_{нижн}$, величину верхнего давления $p_{верхн}$ можно определить в соответствии со следующими зависимостями:

при фиксировании давлений в правой части контура

$$p_{верхн} = p_{нижн} - p_г; \tag{22}$$

при фиксировании давления в левой части контура

$$p_{верхн} = p_{нижн} + p_г. \tag{23}$$

При наличии в схеме нескольких независимых контуров с источниками давлений весьма целесообразно размещение всех (или максимально возможного числа) источников на ветвях одного из общих для этих контуров узлов. Источники, размещенные таким образом, можно выразить для каждого независимого контура через разность двух фиксированных величин в соответствии с уравнением (21). При этом давление p_i, размещенное на одной из ветвей общего узла, может быть принято равным любой произвольно выбранной величине. Назовем это давление исходным гравитационным давлением.

В качестве исходного гравитационного давления часто выбирают давление на самой нижней ветви узла, а величину его принимают равной нулю. Абсолютные величины давлений $p_г$ для всех контуров, проходящих через узел, в котором расположено исходное гравитационное давление, определяются с учетом его величины и расположения. Назовем такие давления, имеющие заданную абсолютную величину, фиксированными гравитационными давлениями.

Необходимо заметить, что размещение фиксированных гравитационных давлений возможно только в одном узле сети. При необходимости размещения разности $p_г$ в других узлах она уже не может быть выражена в виде разности двух заданных абсолютных величин в соответствии с уравнением (21), поскольку такое выражение было бы равнозначно фиксированию определенной разности давлений для двух различных узлов схемы (или помещений здания), что, как правило, не входит в условия расчета. Разность гравитационных давлений, которую нельзя выразить через абсолютные величины давлений, мы назовем плавающей. В отличие от фиксированных давлений она располагается не на ветвях, а на стволе узла, в отрезке, включенном в данный контур и расположенном между двумя соседними вет-

вями. Наличие плавающей разности осложняет расчет системы, особенно при аналоговых методах, поэтому включения ее в схему следует по возможности избегать.

Максимальное число различных по величине гравитационных давлений, которые можно выразить в виде фиксированных источников, определяется по уравнению

$$n = j - 1, \tag{24}$$

где j — число ветвей в узле, присоединяющих к стволу или общей точке независимые контуры с различным гравитационным давлением.

Пользуясь этой зависимостью, можно легко определить, какого рода избыточным давлением — внутренним или внешним целесообразно оперировать при решении той или иной задачи, в каком из внутренних узлов целесообразно размещать источники давлений, можно ли их выразить в виде фиксированных давлений или следует часть из них выразить в виде плавающей разности давлений.

В случае, если все или бо́льшая часть контуров, имеющих гравитационное давление, проходят через внешний узел сети, фиксированные источники гравитационного давления целесообразно размещать во внешнем узле (в атмосфере). Такое размещение источников равносильно расчету с помощью внешних избыточных давлений. В случае, если все или бо́льшая часть контуров, имеющих гравитационное давление, проходят через какой-либо внутренний узел сети, фиксированные источники давления целесообразно размещать в этом внутреннем узле. Такое размещение равносильно расчету с помощью внутренних избыточных давлений.

Гравитационное давление в контуре, не проходящем через узел, в котором размещены фиксированные давления, а также в контуре, для фиксирования давления которого не хватает ветвей в этом узле, выражается в виде плавающей разности давлений, размещаемой в этом контуре.

Для иллюстрации и более полного обоснования предложенного правила размещения и определения гравитационных давлений разберем несколько расчетных случаев на примере двухэтажного здания, варьируя температурные условия внутри здания, его планировку и схему вентиляции. Очевидно, что для зданий большей этажности расчетные схемы будут аналогичны, увеличиваясь по вертикали в соответствии с числом этажей здания.

Случай 1. Двухэтажное здание не имеет вентиляции (или же механический приток равен механической вытяжке в каждом помещении). Температура воздуха во всех помещениях и в лестничной клетке одинакова. Температура наружного воздуха $t_н$ существенно отличается от температуры воздуха внутри здания $t_в (t_н \neq t_в)$. Окиа и входные двери с лестничной клетки в помещения закрыты.

Составим расчетиую схему аэродинамической сети здания, принимая, что расчетными элементами сопротивлений (участками сети) являются все окна и двери здания (рис. 9). Вначале размещаем в схеме все узлы и участки. При этом ветви участков, расположенные на одном уровне и присоединяемые к одному и тому же узлу, объединяем в общую ветвь, как это сделано для ветвей участков *ОАI* и *ОБI*, *ОАII* и *ОБII*, *ДАI* и *ДБI*, *ДАII* и *ДБII*. Далее переходим к расстановке источников давления. С этой целью выделим все независимые контуры сети: *ОАI-ДАI-ДЛ-ОАI* (контур I); *ОБI-ДБI-ДАI-ОАI-ОБI* (контур II); *ОАII-ДАII-ДЛ-ОАII* (контур III); *ОБII-ДБII-ДАII-ОАII-ОБII* (контур IV); *ОЛ-ДЛ-ОЛ* (контур V).

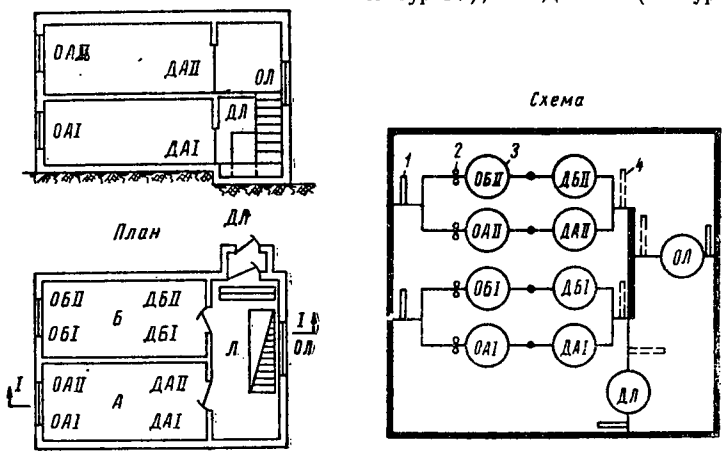


Рис. 9. Схема аэродинамической сети двухэтажного здания

1 — источники давления, размещенные во внешнем узле сети; *2* — элемент линейного сопротивления; *3* — элемент квадратичного сопротивления; *4* — источники давления, размещенные во внутреннем узле сети

Проверяем правильность определенного нами числа независимых контуров по завнсимости (1). В нашем случае число контуров $k=5$. Число узлов сети в схеме $q=6$. Следовательно, число участков r должно составлять:

$$r = 5 + 6 - 1 = 10.$$

Число участков в схеме действительно равно 10, т. е. число независимых контуров найдено правильно.

Контуры II и IV не имеют гравитационного давления. Это ясно из определения, приведенного выше (стр. 27), поскольку вертикальные элементы в этих контурах имеют равную температуру (в контуре II узлы между ветвями к участкам *ОАI* и *ДАI*, а также к участкам *ОБI* и *ДБI*).

Подтвердим это положение применительно к контуру II, воспользовавшись зависимостью (20). Верхний уровень данного контура совпадает с серединой высоты окон I этажа (ветви к участкам *ОАI* и *ОБI*), нижний уровень — с серединой высоты входной двери в квартиру (ветви к участкам *ДАI* и *ДБI*). Вес правого столба воздуха в этом контуре составляет:

$$\Sigma h_{\text{п}}\, \gamma_{\text{п}} = (h_{ОБI} - h_{ДБI})\, \gamma_{\text{в}} \cdot \qquad (25)$$

Вес левого столба равен:

$$\Sigma h_{\text{л}}\, \gamma_{\text{л}} = (h_{ОАI} - h_{ДАI})\, \gamma_{\text{в}} \cdot \qquad (26)$$

Поскольку $h_{\text{ОБI}} - h_{\text{ДБI}} = h_{\text{ОАI}} - h_{\text{ДАI}}$, $p_{\text{гII}} = 0$.

Контур IV имеет аналогичное строение. Имея это в виду, можем записать $p_{гIV}=0$.

Контуры I, III и V согласно приведенному ранее определению являются контурами с гравитационным давлением. Определим величины этих давлений по зависимости (20).

В контуре I на самом верхнем уровне находится центр участка *ОАI*, а на самом нижнем уровне — центр участка *ДЛ*. Отсюда гравитационное давление в контуре III составит:

$$p_{гI} = (h_{ОАI} - h_{ДЛ})\,\gamma_в - (h_{ОАI} - h_{ДЛ})\,\gamma_н$$

или

$$p_{гI} = (\gamma_в - \gamma_н)(h_{ОАI} - h_{ДЛ}). \qquad (27)$$

В контуре III на самом верхнем уровне находится центр участка *ОАII*, а на самом нижнем уровне — центр участка *ДЛ*. Гравитационное давление в контуре III составит:

$$p_{гIII} = (\gamma_в - \gamma_н)(h_{ОАII} - h_{ДЛ}). \qquad (28)$$

Переходим к рассмотрению контура V. На самом верхнем уровне здесь находится центр участка *ОЛ*, а на самом нижнем — центр участка *ДЛ*. Гравитационное давление в этом контуре будет равно:

$$p_{гV} = (h_{ОЛ} - h_{ДЛ})\,\gamma_н - (h_{ОЛ} - h_{ДЛ})\,\gamma_в \qquad (29)$$

или

$$p_{гV} = (\gamma_н - \gamma_в)(h_{ОЛ} - h_{ДЛ}).$$

Далее необходимо выделить узел для размещения фиксированных источников давлений, т. е. такой узел, через который проходят все эти контуры, при условии, что число ветвей, присоединяющих участки к стволу узла, по крайней мере на единицу больше числа контуров с гравитационным давлением.

Рассматривая схему, мы видим, что в ней имеются два таких узла: внешний узел сети и лестничная клетка. Следовательно, в данном случае фиксировать разности гравитационных давлений целесообразно в одном из этих двух узлов.

Определим величины источников гравитационных давлений для обоих случаев.

Размещение источников гравитационного давления во внешнем узле сети. Начнем рассмотрение с контура I. Величина $p_{гI}$ для этого контура определяется по зависимости (27). Чтобы фиксировать величину $p_{гI}$ во внешнем узле сети, мы должны разместить ее в левой части контура I. В соответствии с указанным выше правилом знаков в данном случае

$$p_{верхн} = p_{нижн} + p_{гI}. \qquad (30)$$

Принимая величину давления в нижней части контура перед участком *ДЛ* равной нулю ($p_{гДЛ}=0$), получим величину давления на ветви перед участками *ОАI* и *ОБI*:

$$p_{гОАI} = p_{гОБI} = (\gamma_в - \gamma_н)(h_{ОАI} - h_{ДЛ}). \qquad (31)$$

Рассматриваем далее контур III, имеющий отличное от нуля гравитационное давление. Ветви этого контура, проходящие через внешний узел, также размещаются в левой части контура. Имея в виду, что давление в нижней части контура III уже фиксировано и равно нулю, получим величину давления на ветви перед участками *ОАII* и *ОБII*:

$$p_{гОАII} = p_{гОБII} = (\gamma_в - \gamma_н)(h_{ОАII} - h_{ДЛ}). \qquad (32)$$

Рассматриваем далее контур V. В этом случае величина $p_{гV}$ фиксируется в правой части контура, следовательно, здесь

$$p_{верхн} = p_{нижн} - p_{гV}. \qquad (33)$$

Тогда давление на ветви перед участком *ОЛ* составит:

$$p_{гОЛ} = -(\gamma_н - \gamma_в)(h_{ОЛ} - h_{ДЛ}) = (\gamma_в - \gamma_н)(h_{ОЛ} - h_{ДЛ}). \quad (3$$

Размещение источников давления во внутреннем узле сети (в лестничной клетке). Начинаем размещение источников давлений также с контура I. Нулевое давление фиксируем в нижней части узла перед участком *ДЛ* ($p_{гДЛ} = 0$).

Поскольку в данном случае разность давлений $p_{гI}$ фиксируется в правой части контура I, величина давления перед участками *ДАI* и *ДБI* составит:

$$p_{гДАI} = p_{гДБI} = -(\gamma_в - \gamma_н)(h_{ОАI} - h_{ДЛ}). \quad (3$$

Далее рассматриваем контур III. Источники давления также размещаются в правой его части. Следовательно, величина давления на ветви перед участками *ДАII* и *ДБII* составит:

$$p_{гДАII} = p_{гДБII} = -(\gamma_в - \gamma_н)(h_{ОАII} - h_{ДЛ}). \quad (3$$

Рассматриваем далее контур V. Источники давления размещаются в левой части контура. Следовательно, давление на ветви перед участками *ОЛ* составит:

$$p_{гОЛ} = (\gamma_н - \gamma_в)(h_{ОЛ} - h_{ДЛ}) = -(\gamma_в - \gamma_н)(h_{ОЛ} - h_{ДЛ}). \quad (3$$

Анализируя размещение гравитационных давлений во внешнем узле сети, видим, что гравитационное давление перед любым участком, присоединенным к внешнему узлу сети, может быть определено по следующей зависимости:

$$p_{гi} = p_0 + (\gamma_в - \gamma_н)(h_i - h_0), \quad (3$$

где p_0 — исходное гравитационное давление;

h_i — уровень, на котором данный участок сообщается с атмосферой;

h_0 — уровень, на котором фиксировано исходное гравитационное давление.

При размещении гравитационных давлений во внутреннем узле зависимость для определения гравитационного давления перед любым участком, присоединенным к этому узлу, имеет следующий вид:

$$p_{гi} = p_0 + (\gamma_н - \gamma_в)(h_i - h_0). \quad (3$$

Сопоставление зависимостей (38) и (39) с приведенными ранее зависимостями (18) и (15) подтверждает, что фиксирование давлений во внутреннем узле сети равнозначно расчету систем с помощью внутренних избыточных давлений, а фиксирование давлений во внешнем узле сети равнозначно расчету системы с помощью фиктивных или внешних избыточных давлений.

Сравнивая схемы размещения источников гравитационных давлений во внешнем и внутреннем узле сети, видим, что в обоих случаях число источников гравитационных давлений одинаково, они имеют фиксированные величины, а зависимости, определяющие их величины, аналогичны. Следовательно, в рассматриваемом случае может быть использован любой из двух способов размещения источников гравитационных давлений.

Случай 2. Здание той же этажности и планировки, что в случае 1, при тех же условиях вентиляции имеет различную температуру воздуха в жилых помещениях $t_в$ и в лестничной клетке $t_л$; температура наружного воздуха $t_н$ также отлична от температуры воздуха в здании ($t_в \neq t_л \neq t_н$). Окна и входные двери с лестничной клетки в помещения закрыты.

Расчетная схема аэродинамической сети здания остается той же, что и в предыдущем случае (см. рис. 9). Система независимых контуров также может быть принята прежней. Согласно предыдущему случаю в контурах II и IV гравитационное давление отсутствует, а контуры I, III и V имеют гравитационное давление.

Величины гравитационных давлений по контурам определяются в соответствии с зависимостью (20):

для контура I

$$p_{гI} = (h_{OAI} - h_{ДAI})\gamma_в + (h_{ДAI} - h_{ДЛ})\gamma_л - (h_{OAI} - h_{ДЛ})\gamma_н$$

или

$$p_{гI} = (\gamma_в - \gamma_н)(h_{OAI} - h_{ДAI}) + (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ДAI} - h_{ДЛ}); \quad (40)$$

для контура III

$$p_{гIII} = (\gamma_в - \gamma_н)(h_{OAII} - h_{ДAII}) + (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ДAII} - h_{ДЛ}); \quad (41)$$

для контура V

$$p_{гV} = (\gamma_н - \gamma_л)(h_{ОЛ} - h_{ДЛ}). \quad (42)$$

Отмечая, что эти контуры проходят как через внешний узел, так и через узел лестничной клетки и в обоих узлах число ветвей, присоединяющих эти контуры, отвечает зависимости (24), можем сказать, что в данном случае, как и в случае 1, гравитационные давления могут быть фиксированы как во внешнем узле, так и в узле лестничной клетки, т. е. они могут рассматриваться как в виде внешних, так и в виде внутренних избыточных давлений. Представляя их в виде внешних избыточных давлений, выразим их величины следующим образом:

на ветви перед участком *ДЛ*

$$p_{гДЛ} = 0; \quad (43)$$

на ветви перед участками *ОАI* и *ОБI*

$$p_{гOAI} = (\gamma_в - \gamma_н)(h_{OAI} - h_{ДAI}) + (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ДAI} - h_{ДЛ}); \quad (44)$$

на ветви перед участками *ОАII* и *ОБII*

$$p_{гOAII} = (\gamma_в - \gamma_н)(h_{OAII} - h_{ДAII}) + (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ДAII} - h_{ДЛ}); \quad (45)$$

на ветви перед участком *ОЛ*

$$p_{гОЛ} = (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ОЛ} - h_{ДЛ}). \quad (46)$$

Представляя гравитационные давления в данной схеме в виде внутренних избыточных давлений в узле лестничной клетки, выразим их величины следующим образом:

на ветви перед участком *ДЛ*

$$p_{гДЛ} = 0; \quad (47)$$

на ветви перед участками *ДАI* и *ДБI*

$$p_{гДAI} = (\gamma_н - \gamma_в)(h_{OAI} - h_{ДAI}) + (\gamma_н - \gamma_л)(h_{ДAI} - h_{ДЛ}); \quad (48)$$

на ветви перед участками *ДАII* и *ДБII*

$$p_{гДAII} = (\gamma_н - \gamma_в)(h_{OAII} - h_{ДAII}) + (\gamma_н - \gamma_л)(h_{ДAII} - h_{ДЛ}); \quad (49)$$

на ветви перед участком *ОЛ*

$$p_{гОЛ} = (\gamma_н - \gamma_л)(h_{ОЛ} - h_{ДЛ}). \quad (50)$$

Анализируя расчетные случаи 1 и 2, можно сделать вывод, что при отсутствии в здании повышенной этажности систем вентиляции гравитационные давления могут рассчитываться как в виде внешних, так и в виде внутренних избыточных давлений. При равенстве температур воздуха во всех помещениях внешние избыточные давления подсчитываются по зависимостям типа (31)—(34), а внутренние избыточные давления — по зависимостям типа (35)—(37). При различной температуре воздуха в помещениях и в лестнично-лифтовых узлах внешние избыточные давления подсчитываются по зависимостям типа (43)—(46), а внутренние избыточные давления — по зависимостям типа (47)—(50).

Необходимо отметить, что при сложных планировках здания, особенно при нескольких лестнично-лифтовых узлах, представление гравитационных давлений в виде внутренних избыточных давлений может оказаться нецелесообразным даже при отсутствии систем вентиляции и ветра. Поэтому в таких случаях следует предварительно исследовать схему, определив, являются ли равноценными варианты размещения фиксированных давлений в ее внешнем и внутренних узлах.

Случай 3. Здание той же этажности и планировки, что и в случаях 1 и 2, имеет раздельные каналы естественной вытяжной вентиляции с жалюзийными решетками в помещениях I и II этажей (рис. 10). Температура воздуха внутри помещений $t_в$, внутри вентиляционного канала $t_{вт}$, внутри лестничной клетки $t_л$ и температура наружного воздуха $t_н$ различны ($t_в \neq t_{вт} \neq t_л \neq t_н$).

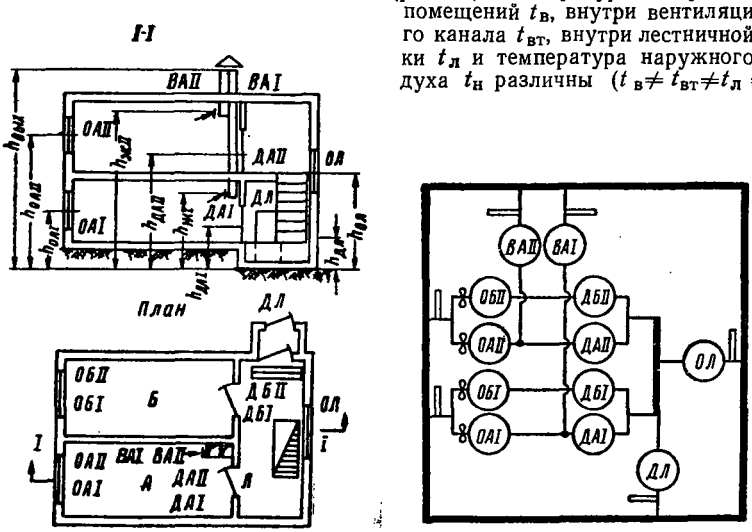


Рис. 10. Схема аэродинамической сети двухэтажного здания с естественной вытяжной вентиляцией

Все окна и входные двери с лестницы в помещения закрыты. Следовательно, в качестве расчетных участков рассматриваются двери, окна и вентиляционные каналы здания, а в качестве узлов сети — помещения, лестничная клетка и атмосфера.

Как и в предыдущем случае, разобьем систему на независимые контуры: *ОАI-ДАI-ДЛ-ОАI* (контур I); *ОБI-ДБI-ДАI-ОАI-ОБI* (контур II); *ОАII-ДАII-ДЛ-ОАII* (контур III); *ОБII-ДБII-ДАII-ОАII-ОБII* (контур IV); *ВАII-ДАII-ДЛ-ВАII* (контур V); *ВАI-ДАI-ДЛ-ВАI* (контур VI); *ОЛ-ДЛ-ОЛ* (контур VII).

В рассматриваемом случае гравитационные давления отсутствуют в контурах II, IV. Контуры I, III, V, VI и VII имеют гравитационные давления.

Чтобы выбрать способ фиксирования гравитационных давлений, найдем узлы, через которые проходят все контуры, имеющие гравитационное давление, и определим, имеют ли они достаточное число ветвей для размещения фиксированных источников.

Очевидно, что узлами, через которые проходят все контуры с гравитационным давлением, являются внешний узел и узел лестничной клетки. Однако в узле лестничной клетки имеется только четыре ветви, присоединяющих участки к стволу узла. Во внешнем узле таких ветвей шесть.

Мы знаем, что для фиксирования давлений пяти контуров с гравитационным давлением нам необходимо шесть ветвей. Следовательно, в данном случае целесообразно фиксирование давлений во внешнем узле, т. е. выбор внешних избыточных давлений.

Величины источников внешних избыточных давлений могут быть определены следующим образом:

на ветви перед участком *ДЛ*

$$p_{гДЛ} = 0; \qquad (51)$$

на ветви перед участками *ОАI* и *ОБI*

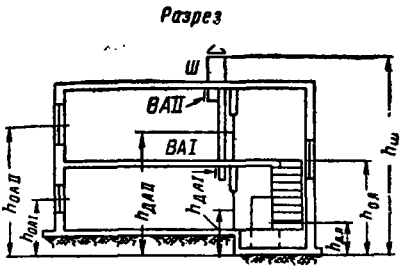
$$p_{гОАI} = (\gamma_в - \gamma_н)(h_{ОАI} - h_{ДАI}) + (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ДАI} - h_{ДЛ}); \qquad (52)$$

на ветви перед участками *ОАII* и *ОБII*

$$p_{гОАII} = (\gamma_в - \gamma_н)(h_{ОАII} - h_{ДАII}) + (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ДАII} - h_{ДЛ}); \qquad (53)$$

на ветви перед участком *ВАI*

$$p_{гВАI} = (\gamma_{вт} - \gamma_н)(h_{вых} - h_{жI}) + (\gamma_в - \gamma_н)(h_{жI} - h_{ДАI}) + (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ДАI} - h_{ДЛ}); \qquad (54)$$



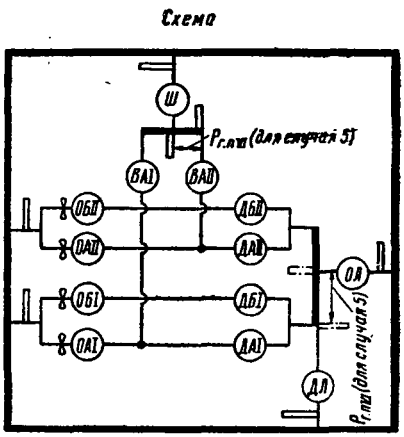


Рис. 11. Схема аэродинамической сети двухэтажного здания с вертикальными вентиляционными каналами, объединенными в шахту

на ветви перед участком *ВАII*

$$p_{гВАII} = (\gamma_{вт} - \gamma_н)(h_{вых} - h_{жII}) + (\gamma_в - \gamma_н)(h_{жII} - h_{ДАII}) + (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ДАII} - h_{ДЛ}); \qquad (55)$$

на ветви перед участком *ОЛ*

$$p_{гОЛ} = (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ОЛ} - h_{ДЛ}). \qquad (56)$$

Случай 4. Помещения *А* I и II этажа того же здания оборудованы системой вентиляции с вертикальными каналами, объединенными на чердаке в шахту. Температура воздуха в системе вентиляции равна температуре воздуха в лестничной клетке и в помещениях $t_в$. Температура наружного воздуха $t_н$ отличается от температуры воздуха внутри здания ($t_в \neq t_н$). Разрез здания и схема аэродинамической сети его представлены на рис. 11.

Выделяем в системе независимые контуры: *ОАI-ДАI-ДЛ-ОАI* (контур I); *ОБI-ДБI-ДАI-ОАI-ОБI* (контур II); *ОАII-ДАII-ДЛ-ОАII* (контур III); *ОБII-ДБII-ДАII-ОАII-ОБII* (контур IV); *Ш-ВАI-ДАI-ДЛ-Ш* (контур V); *ВАII-ДАII-ДАI-ВАI-ВАII* (контур VI); *ОЛ-ДЛ-ОЛ* (контур VII).

Отсутствуют гравитационные давления в контурах II, IV и VI. Имеются гравитационные давления в контурах I, III, V и VII. Все эти контуры проходят через внешний узел сети, присоединяясь к его стволу пятью ветвями. Они проходят также и через узел лестничной клетки, но присоединяются к иему

только четырьмя ветвями. Следовательно, в данном случае (при четырех ко
турах с гравитационным давлением) целесообразно фиксирование давлен
во внешнем узле сети. Величины фиксированных источников гравитационны
давлений определятся следующим образом:

на ветви перед участком *ДЛ*

$$p_{гДЛ} = 0; \qquad (5$$

на ветви перед участками *ОАI* и *ОБI*

$$p_{гОАI} = (\gamma_в - \gamma_н)(h_{ОАI} - h_{ДЛ}); \qquad (5$$

на ветви перед участками *ОАII* и *ОБII*

$$p_{гОАII} = (\gamma_в - \gamma_н)(h_{ОАII} - h_{ДЛ}); \qquad (5$$

на ветви перед участком *Ш*

$$p_{гШ} = (\gamma_в - \gamma_н)(h_{Ш} - h_{ДЛ}); \qquad (6$$

на ветви перед участком *ОЛ*

$$p_{гОЛ} = (\gamma_в - \gamma_н)(h_{ОЛ} - h_{ДЛ}). \qquad (6$$

Случай 5. При тех же условиях расчета, что и в случае 4, температур
воздуха в лестничной клетке отличается от температуры воздуха в помещения
и в вентиляционной системе здания. Температура наружного воздуха такж
не равна температуре воздуха внутри здания ($t_в \neq t_л \neq t_н$).

Система независимых контуров остается той же, что и в случае 4, но ко
тур VI при неравенстве температур воздуха в лестничной клетке и в поме
щениях превращается в контур с гравитационным давлением. Таким образо
в данном случае мы имеем пять независимых контуров с гравитационным да
лением. Поскольку во внешнем узле мы имеем только пять ветвей, отходящи
от ствола, можно заранее сказать, что фиксировать все пять источников да
ления мы не сможем. Очевидно, что в данном случае неизбежно включени
в расчет плавающей разности давлений.

Величины фиксированных давлений, размещаемых во внешнем узле, с
ставят:

на ветви перед участком *ДЛ*

$$p_{гДЛ} = 0; \qquad (6$$

на ветви перед участками *ОАI* и *ОБI*

$$p_{гОАI} = (\gamma_в - \gamma_н)(h_{ОАI} - h_{ДАI}) + (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ДАI} - h_{ДЛ}); \qquad (6$$

на ветви перед участками *ОАII* и *ОБII*

$$p_{гОАII} = (\gamma_в - \gamma_н)(h_{ОАII} - h_{ДАII}) + (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ДАII} - h_{ДЛ}); \qquad (6$$

на ветви перед участком *Ш*

$$p_{гШ} = (\gamma_в - \gamma_н)(h_{Ш} - h_{ДАI}) + (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ДАI} - h_{ДЛ}); \qquad (6$$

на ветви перед участком *ОЛ*

$$p_{гОЛ} = (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ОЛ} - h_{ДЛ}). \qquad (6$$

Величина плавающей разности давлений, размещаемой в контуре VI, ра
няется

$$p_{г.пVI} = (\gamma_л - \gamma_в)(h_{ДАII} - h_{ДАI}). \qquad (6$$

Эту разность давлений мы можем разместить на стволе любого узла, чер
который проходит контур VI, выразив ее в виде двух источников: умен
шаемого $p_{\ .п.ум}$ и вычитаемого $p_{г.п.выч}$, т. е.

$$p_{г.пVI} = p_{г.п.умVI} - p_{г.п.вычVI}. \qquad (6$$

Уменьшаемое располагаем первым по ходу часовой стрелки. Иногда плавающую разность необходимо учитывать в качестве дополнительного источника и во всех других контурах, в которые она входит попутно. Такой учет совершенно необходим при аналоговых методах расчета.

Чтобы пояснить это положение, рассмотрим два случая размещения плавающей разности давлений в контуре VI: в верхнем левом узле на отрезке ствола между ветвями участков *ВАII* и *Ш* и в нижнем правом узле на отрезке ствола между ветвями *ОЛ* и *ДАI-ДБI* (см. рис. 11).

В первом случае отрезок, на котором размещена плавающая разность давлений, входит только в контур VI. Следовательно, размещение на этом отрезке плавающей разности давлений не изменит фиксированной разности давлений ни в одном из остальных контуров, и записанные ранее величины фиксированных давлений во внешнем узле сохранятся.

Во втором случае отрезок, на котором размещена плавающая разность давлений, кроме контура VI, входит также в контуры III и VII. Это означает, что ранее рассчитанные величины давлений для контуров III и VII, фиксированные во внешнем узле сети, должны быть изменены. Величины фиксированных давлений в этих контурах составят:

на ветви перед участками *ОАII* и *ОБII*

$$p'_{гОАII} = p_{г\,ОАII} - p_{г.пVI} = (\gamma_в - \gamma_н)(h_{ОАII} - h_{ДАI}) + \\ + (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ДАI} - h_{ДЛ}); \qquad (64')$$

на ветви перед участком *ОЛ*

$$p'_{гОЛ} = p_{гОЛ} + p_{г.пVI} = (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ОЛ} - h_{ДЛ}) + \\ + (\gamma_л - \gamma_в)(h_{ДАII} - h_{ДАI}). \qquad (66')$$

Случай 6. То же здание имеет герметизированные окна. Все помещения оборудованы вытяжными каналами, объединенными на чердаке в шахту, причем температура воздуха в каналах равна температуре воздуха в помещениях $t_в$, но отличается от температуры воздуха в лестничной клетке $t_л$ и от температуры наружного воздуха $t_н$ ($t_в \neq t_л \neq t_н$). Схема аэродинамической сети здания представлена на рис. 12.

Выделяем независимые контуры в схеме: *Ш-ВАI-ДАI-ДЛ-Ш* (контур I); *ВБI-ДБI-ДАI-ВАI-ВБI* (контур II); *Ш-ВАII-ДАII-ДЛ-Ш* (контур III); *ВБII-ДБII-ДАII-ВАII-ВБII* (контур IV).

Контуры II и IV не имеют гравитационного давления. Контуры I и III имеют гравитационное давление.

К внешнему узлу контуры присоединяются двумя ветвями, к двум внутренним (узлу лестничной клетки и узлу системы вентиляции) — тремя ветвями к каждому. Очевидно, что в данном случае целесообразно фиксировать источ-

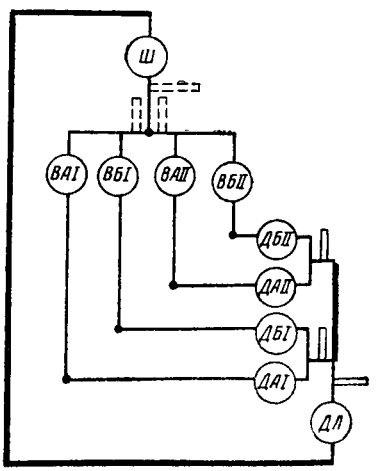


Рис. 12. Схема аэродинамической сети двухэтажного здания с герметизированными окнами (местоположение источников давления при их размещении в узле лестничной клетки обозначено сплошными линиями, а в узле, объединяющем участки вентиляционной системы, — пунктиром)

ники в одном из внутренних узлов, т. е. пользоваться внутренними избыточны ми давлениями. В этом случае все источники давлений могут быть фиксир ванными. При размещении в узле лестничной клетки величины их опред лятся следующим образом:

на ветви перед участком *ДЛ*

$$p_{гДЛ} = 0; \tag{6}$$

на ветви перед участками *ДАI* и *ДБI*

$$p_{гДАI} = -(\gamma_в - \gamma_н)(h_Ш - h_{ДАI}) - (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ДАI} - h_{ДЛ}); \tag{7}$$

на ветви перед участками *ДАII* и *ДБII*

$$p_{гДАII} = -(\gamma_в - \gamma_н)(h_Ш - h_{ДАII}) - (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ДАII} - h_{ДЛ}). \tag{7}$$

б) Ветер

Положительное или отрицательное давление, создаваемо ветром, возникает в результате обтекания потоком наружно воздуха здания или группы зданий. При этом происходит изм нение кинетической энергии свободного ветрового потока.

У лобовой по отношению к воздушному потоку части здани происходит затормаживание струй, уменьшение кинетическо энергии потока и согласно законам аэродинамики увеличен его потенциальной энергии или статического давления (подпор В тех местах, где поток огибает здание, происходит искривлен струй, завихрение и частичное сжатие потока, что влечет за с бой увеличение его скорости и соответственно увеличение кин тической энергии. При этом потенциальная энергия потока, в раженная его статическим давлением, уменьшается, и вбли таких поверхностей мы имеем статическое разрежение. Статич ское давление p у наружного ограждения здания выражаетс зависимостью

$$p = p_а + p_в, \tag{7}$$

где $p_а$ — атмосферное давление, представляющее собой статич ское давление свободного потока наружного возду объемным весом γ, движущегося со скоростью $v_в$;

— изменение статического давления (подпор или разреж ние) у наружных ограждений здания, определяемое формуле

$$p_в = K\frac{v_в^2}{2g}\gamma. \tag{7}$$

В формуле (73) K — аэродинамический коэффициент, завис щий от формы здания, окружающей застройки и направлен ветра. На наветренной стороне здания величина K, как правил положительна. На заветренной стороне и в тех местах, где вслед ствие вихреобразования и сжатия струй воздушного потока во никает разрежение (с боков и на верху здания), величина K о рицательна. Величины аэродинамического коэффициента K д

зданий различных типов при различных направлениях ветра и типе застройки получены в результате изучения аэродинамики зданий на моделях в аэродинамической трубе и на основании теоретического решения задачи обтекания здания потоком воздуха [29, 30].

Увеличение высоты здания, как правило, сопровождается изменением соотношения размеров его сторон. При этом отноше-

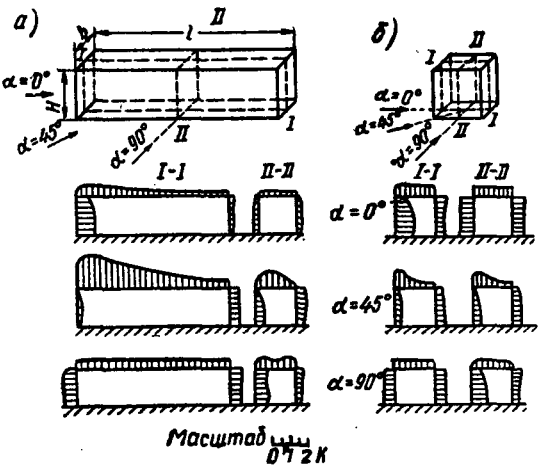


Рис. 13. Эпюры аэродинамических коэффициентов K по поверхности моделей зданий

а — модель 1, $H \leqslant \frac{l}{2}$; *б* — модель 2, $H > \frac{l}{2}$

ние высоты к длине здания обычно увеличивается. Согласно данным Э. И. Реттера [29], такое изменение формы здания влечет за собой некоторые изменения в величинах аэродинамических коэффициентов. Эти изменения показаны на рис. 13 в виде эпюр аэродинамических коэффициентов на поверхностях двух параллелепипедов с различным соотношением длины и высоты. Как видно из рисунка, при относительном увеличении высоты здания до величины $H > \frac{l}{2}$ (что характерно для зданий повышенной этажности) аэродинамические коэффициенты на наветренной стороне здания несколько возрастают. Так, если при $H \leqslant \frac{l}{2}$ значения $K = 0{,}6 \div 0{,}8$, то при $H > \frac{l}{2}$ они достигают 0,9. При торцовом направлении ветра в высоких зданиях существенно увеличиваются отрицательные значения аэродинамических коэффициентов у фасадов и крыши, причем они имеют более стабильный характер, чем в длинных и невысоких зданиях.

При выборе аэродинамических коэффициентов помимо соотношения размеров следует учитывать размещение здания по отношению к окружающей застройке, вводя для этого определенные поправки [30].

Весьма важным является выбор расчетной скорости ветра, соответствующей климатическим условиям данной местности, местоположению здания и высоте отдельных его помещений над поверхностью земли. Выбирая расчетные скорости ветра, необходимо установить характерные для данной местности соотношения температур наружного воздуха и скоростей ветра. Эти соотношения могут быть самыми различными. Для значительной территории Советского Союза, включающей его центральную часть, в отопительный период характерно сочетание низких температур наружного воздуха с ветром малой скорости и увеличенных скоростей ветра с несколько повышенными температурами наружного воздуха. В таких условиях максимум затрат тепла на подогрев инфильтрующегося воздуха не совпадает по времени с максимумом затрат тепла на возмещение теплопотерь ограждениями. Это требует в некоторых случаях изменения расчетной отопительной температуры наружного воздуха и графика регулирования отпуска тепла. Следует, однако, отметить, что такое изменение может быть сделано только на основе тщательного анализа совместного воздействия ветра и гравитационного давления на воздушно-тепловой режим в здании.

Известно, что скорость ветра возрастает по высоте. При расчете воздухообмена в зданиях повышенной этажности изменение скорости ветра по высоте для данной местности следует определять на основании изучения многолетних климатических данных. Обобщение данных многолетних наблюдений за соотношениями температур $t_н$ и скоростей ветра $v_в$ на различном уровне h над поверхностью земли для центральной полосы европейской части Советского Союза позволило выразить их зависимость при невыгоднейших сочетаниях ветра и температуры в виде расчетной формулы [3]

$$v_в = 8 + 0{,}143t_н + 0{,}03h. \qquad (74)$$

Характер изменения скорости ветра по высоте, определенный по этой формуле, представлен на рис. 14 справа (сплошные линии). На этом же рисунке слева приведены аналогичные данные, рекомендованные А. Н. Сканави [33] для расчета скорости ветра исходя из средних ее значений для различных температур наружного воздуха и уровней над поверхностью земли (пунктирные линии).

Вопрос о том, какая скорость ветра должна быть выбрана в качестве расчетной, решается для каждого конкретного случая исходя из имеющихся данных об изменении скорости ветра, подобных приведенным на рис. 14. При этом следует принимать во внимание цель расчета (например, определение надбавок на

инфильтрацию к теплопотерям ограждений, исследование работы систем естественной вентиляции и пр.), а также назначение здания, для которого производится расчет.

По-видимому, использование невыгоднейших сочетаний ветра и температуры целесообразно при расчете теплопотерь или исследовании воздушных потоков в зданиях с коэффициентом обеспеченности, близким к единице. К таким зданиям относятся больницы, детские ясли и детские сады [3]. В зданиях, коэффи-

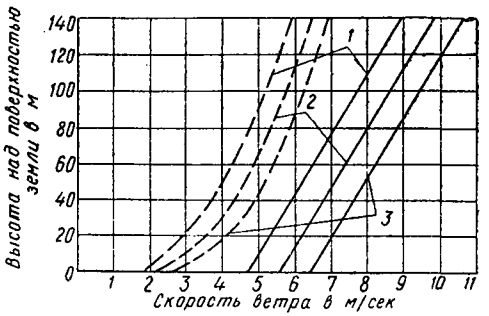


Рис. 14. Расчетные профили скоростей ветра для центральной полосы европейской части СССР

1 — температура наружного воздуха от —8 до —15° С; *2* — то же, от —15 до —21° С; *3* — то же, от —21 до —30° С

циент обеспеченности которых может быть меньше единицы, расчетная скорость ветра должна быть соответственно уменьшена.

При исследовании работы систем естественной вентиляции самой невыгодной считается минимальная скорость ветра в переходный период года, принимаемая, как правило, равной нулю. Однако это положение нуждается в пересмотре, особенно для климатических районов, где штили в переходный период года редки, а также для зданий, коэффициент обеспеченности которых может быть меньше единицы. Расчетная скорость ветра в этих случаях должна быть выбрана отличной от нуля с учетом соответствующих климатических данных и требуемого коэффициента обеспеченности.

Для определения величины источников давлений, моделирующих ветер, и их местоположения в схеме аэродинамической сети может быть использовано правило, аналогичное сформулированному ранее для источников гравитационных давлений, а именно: фиксированные источники ветрового давления следует размещать в том узле сети, через который проходят все или бо́льшая часть независимых контуров с источниками давления и в котором сходится наибольшее число ветвей, присоединяющих

участки этих контуров к стволу узла. При числе ветвей, равном числу источников ветрового давления, последние выражаются целиком в виде фиксированных давлений.

Ветровое давление — источник, который по своему характеру действует всегда во внешнем узле сети. Точки его приложения естественно располагаются перед участками сети, на которые он оказывает непосредственное воздействие (перед окнами, входами в здания, у мест забора и выброса воздуха в системах вентиляции и пр.), на ветвях, присоединяющих эти участки к стволу узла. Поэтому, если ветровые воздействия являются единственными источниками давлений, их целесообразно представлять в виде фиксированных источников, размещенных во внешнем узле сети.

Однако следует иметь в виду, что иногда источники ветрового давления целесообразно размещать во внутреннем узле сети — например в случае, если в здании имеются также источники гравитационных давлений, размещаемые во внутреннем узле.

Величины источников ветрового давления определяются по выражению (73).

Необходимо учитывать, что при расчете важны не абсолютные величины подпора или разрежения у наружных ограждений, а лишь разности давлений по контурам системы. В связи с этим можно упростить запись фиксированных давлений, а в некоторых случаях и сократить число фиксированных источников. С этой целью давление для одной из точек или сторон здания, имеющей аэродинамический коэффициент K_0, принимают за нулевое. Обычно в качестве нулевого источника принимают давление на заветренной стороне здания как имеющее наименьшее значение. Величины остальных источников определяют в этом случае как разность их значений, определенных по формуле (73), и значения нулевого давления, определенного по той же зависимости.

Правило знаков при фиксировании источников давления ветра во внешнем узле схемы следующее: при определении величины источника по зависимости (73) знак источника соответствует знаку аэродинамического коэффициента. В случае, если давление ветра выражается как разность давления в данной точке и давления ветра, условно принятого за нулевое, знак источника давления соответствует знаку полученной разности.

При фиксировании источников ветрового давления во внутреннем узле схемы правило знаков обратное.

При совместном действии ветра и гравитационного давления величины суммарных источников давлений определяются путем алгебраического сложения величин фиксированных источников гравитационных и ветровых давлений, размещенных на одних и тех же ветвях узла сети. Знаки соответствующих источников определяются согласно правилам, изложенным здесь и на стр. 28.

Расчет и размещение в схеме суммарных источников давлений (ветрового и гравитационного) иллюстрируют приведенные ниже случаи 7 и 8.

Случай 7. Расчетные условия те же, что и в случае 4. Кроме того, здание обдувается ветром со скоростью $v_в$. Заданы следующие аэродинамические коэффициенты: у участков *ОАI* и *ОБI* — $K_{ОАI}$, у участка *ОЛ* — $K_{ОЛ}$, у участков *ОАII* и *ОБII* — $K_{ОАII}$, у участка *ДЛ* — $K_{ДЛ}$, у участка *Ш* — $K_{Ш}$. Схема аэродинамической сети остается той же, что и для случая 4 (см. рис. 11). Независимые контуры в схеме те же.

Величины ветровых давлений с внешней стороны соответствующих участков составят:

перед участками *ОАI* и *ОБI*

$$p_{вОАI} = K_{ОАI} \frac{v_в^2}{2g} \gamma;$$

перед участками *ОАII* и *ОБII*

$$p_{вОАII} = K_{ОАII} \frac{v_в^2}{2g} \gamma;$$

перед участком *ОЛ*

$$p_{вОЛ} = K_{ОЛ} \frac{v_в^2}{2g} \gamma;$$

перед участком *ДЛ*

$$p_{вДЛ} = K_{ДЛ} \frac{v_в^2}{2g} \gamma;$$

перед участком *Ш*

$$p_{вШ} = K_{Ш} \frac{v_в^2}{2g} \gamma.$$

Принимая давление перед участком *ДЛ* равным нулю ($p_{вДЛ}=0$), получим следующие величины источников давлений:

перед участками *ОАI* и *ОБI*

$$p_{вОАI} = (K_{ОАI} - K_{ДЛ}) \frac{v_в^2}{2g} \gamma;$$

перед участками *ОАII* и *ОБII*

$$p_{вОАII} = (K_{ОАII} - K_{ДЛ}) \frac{v_в^2}{2g} \gamma;$$

перед участком *ОЛ*

$$p_{вОЛ} = (K_{ОЛ} - K_{ДЛ}) \frac{v_в^2}{2g} \gamma;$$

перед участком *Ш*

$$p_{вШ} = (K_{Ш} - K_{ДЛ}) \frac{v_в^2}{2g} \gamma.$$

Эти источники давлений включаются соответственно в контуры I, III, V и VII, т. е. в контуры с гравитационным давлением (см. случай 4).

Выделяем узлы, пригодные для размещения фиксированных источников суммарных давлений, т. е. такие узлы, через которые проходят все контуры с источниками при условии, что минимальное число ветвей, присоединяющих их к стволу узла, на единицу больше числа контуров с гравитационным давлением и равно числу источников ветрового давления. В данной схеме таким узлом является внешний узел.

Величины гравитационного и ветрового давлений перед участком *ДЛ* могут быть приняты равными нулю. Следовательно, фиксированное суммарное давление перед участком *ДЛ* составит:

$$p_{\text{сум }ДЛ} = 0. \tag{75}$$

Суммарное гравитационное и ветровое давление перед участками *ОАI* и *ОБI* составляет:

$$p_{\text{сум}ОАI} = p_{\text{г}ОАI} + p_{\text{в}ОАII} = (\gamma_{\text{в}} - \gamma_{\text{н}})(h_{ОАI} - h_{ДЛ}) + \\ + (K_{ОАI} - K_{ДЛ})\frac{v_{\text{в}}^2}{2g}\gamma. \tag{76}$$

Подобным же образом получаем суммарное давление перед участками *ОАII*, *ОБII*, *ОЛ* и *Ш*:

$$p_{\text{сум}ОАII} = (\gamma_{\text{в}} - \gamma_{\text{н}})(h_{ОАII} - h_{ДЛ}) + (K_{ОАII} - K_{ДЛ})\frac{v_{\text{в}}^2}{2g}\gamma; \tag{77}$$

$$p_{\text{сум}ОЛ} = (\gamma_{\text{в}} - \gamma_{\text{н}})(h_{ОЛ} - h_{ДЛ}) + (K_{СЛ} - K_{ДЛ})\frac{v_{\text{в}}^2}{2g}\gamma; \tag{78}$$

$$p_{\text{сум}Ш} = (\gamma_{\text{в}} - \gamma_{\text{н}})(h_{Ш} - h_{ДЛ}) + (K_{Ш} - K_{ДЛ})\frac{v_{\text{в}}^2}{2g}\gamma. \tag{79}$$

Случай 8. Расчетные условия те же, что и в случае 6. Кроме того, здание обдувается ветром со скоростью $v_{\text{в}}$. Заданы следующие аэродинамические коэффициенты: у участка $ДЛ - K_{ДЛ}$, у участка $Ш - K_{Ш}$. Схема аэродинамической сети остается той же, что и в случае 6 (см. рис. 12). Независимые контуры в схеме те же.

Величины ветровых давлений с внешней стороны здания составят:

перед участком *ДЛ*

$$p_{\text{в}ДЛ} = K_{ДЛ}\frac{v_{\text{в}}^2}{2g}\gamma;$$

перед участком *Ш*

$$p_{\text{в}Ш} = K_{Ш}\frac{v_{\text{в}}^2}{2g}\gamma.$$

Принимая ветровое давление перед участком *ДЛ* равным нулю ($p_{\text{в}ДЛ}=0$), получим:

$$p_{\text{в}Ш} = (K_{Ш} - K_{ДЛ})\frac{v_{\text{в}}^2}{2g}\gamma.$$

Эти источники давлений включаются в контуры I и III, имеющие, кроме того, источники гравитационных давлений (см. случай 6). Из сказанного ранее следует, что для размещения фиксированных источников давления ветра достаточно двух ветвей. Для размещения же гравитационных и соответственно суммарных давлений необходимо не менее трех ветвей.

Внешний узел сети имеет только две ветви, а внутренние узлы лестничной клетки и системы вентиляции — по три ветви. Следовательно, в данном случае целесообразно фиксировать источники давления в одном из внутренних узлов сети, что равносильно использованию внутренних избыточных давлений.

При фиксировании источников в узле лестничной клетки величины их составят:

перед участком *ДЛ*

$$p_{\text{сум}ДЛ} = 0; \tag{80}$$

перед участками *ДАI* и *ДБI*

$$p_{\text{сум}ДАI} = -(\gamma_в - \gamma_н)(h_Ш - h_{ДАI}) - (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ДАI} - h_{ДЛ}) - \\ - (K_Ш - K_{ДЛ})\frac{v_в^2}{2g}\gamma; \tag{81}$$

перед участками *ДАII* и *ДБII*

$$p_{\text{сум}ДАII} = -(\gamma_в - \gamma_н)(h_Ш - h_{ДАII}) - (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ДАII} - h_{ДЛ}) - \\ - (K_Ш - K_{ДЛ})\frac{v_в^2}{2g}\gamma. \tag{82}$$

Анализ этого случая позволяет сделать вывод, что фиксирование суммарного (ветрового и гравитационного) давления во внутреннем узле сети и, следовательно, использование внутренних избыточных давлений целесообразны тогда, когда сопротивления окон в зданиях повышенной этажности весьма велики и окна не рассматриваются в качестве расчетных участков схемы аэродинамической сети здания.

Если же окна рассматриваются в качестве расчетных участков схемы, обычно более целесообразно фиксирование источников во внешнем узле сети.

в) Вентиляционное оборудование

Третьим источником энергии в системе воздухообмена является вентиляционное оборудование с механическим побуждением (вентиляторы).

При исследовании воздействия механической вентиляции на воздухообмен в здании можно выделить два принципиально различных случая.

Первый случай — указанное воздействие рассматривается без учета переменной работы систем вентиляции и аэродинамической характеристики самого вентиляционного оборудования, т. е. без учета «обратной связи» воздухообмена в аэродинамической сети здания с работой вентиляционного оборудования. Такое рассмотрение предполагает заданные объемы притока (или вытяжки) воздуха в определенных помещениях здания.

Этот случай встречается при проектировании тогда, когда заведомо известно о высокой устойчивости работы системы вентиляции, т. е. о постоянстве расходов во всех ее участках. При

этом потери давления в участках, непосредственно сообщающихся с вентилируемым помещением, намного превышают возможные изменения давления в самом вентилируемом помещении. Как правило, это характерно для систем с высокими скоростями выхода или входа воздуха в вентиляционных отверстиях, а также для помещений с высокой воздухопроницаемостью наружных ограждений (например, при постоянно открытых окнах) при незначительных ветровых воздействиях.

Этот случай встречается при проектировании и тогда, когда по условиям расчета задан объем притока или вытяжки воздуха в помещении, а расчет систем и подбор вентиляционного оборудования является вторым этапом, выполняемым после расчета аэродинамической системы здания.

Подобный способ расчета можно применять и для систем вентиляции с естественным побуждением. При этом сначала рассчитывают воздухообмен в здании исходя из заданных количеств приточного или вытяжного воздуха в помещениях, затем определяют величины располагаемых давлений (разность давлений у мест входа и выхода воздуха) для каждого помещения и рассчитывают систему естественной вентиляции. Следует заметить, что величины располагаемых давлений, определенные таким образом, могут получиться весьма малыми или даже отрицательными (например, при расчете систем естественной вытяжной вентиляции величина давления в верхнем этаже может оказаться меньше величины давления у места выхода воздуха из системы). Это будет означать, что осуществить систему с заданными количествами воздуха без дополнительных побудителей тяги (например, в виде эжекции) при данной аэродинамической системе здания невозможно.

Заданный объем притока или вытяжки моделируется в схеме аэродинамической сети количеством поступающего в узел или выходящего из него воздуха в *кГ/ч*. При этом предварительно производится алгебраическое суммирование всех количеств приточного и вытяжного воздуха в данном помещении (в узле). Результат этого суммирования фиксируется в любой точке узла, моделирующего данное помещение.

Второй случай — аэродинамическая система рассчитывается с учетом работы вентиляционных систем и оборудования.

В этом случае характеристика оборудования (зависимость создаваемого перепада давления от количества воздуха, перемещаемого вентилятором) должна быть выражена уравнением такого вида:

$$p_{вт} = p_0 - A'' \frac{G}{\gamma} - B'' \frac{G^2}{\gamma^2}, \qquad (83)$$

где $p_{вт}$ — давление, развиваемое вентилятором, в *кГ/м²*;

G — количество воздуха, перемещаемого вентилятором, в *кГ/ч*;

γ — объемный вес воздуха в *кГ/м³*;

p_0, A'' и B'' — коэффициенты, определяемые по графическим характеристикам вентиляторов.

Обычно характеристика вентилятора представляется графически в виде зависимости $p_{вт} = f\left(\frac{G}{\gamma}\right)$. Преобразовать графическую характеристику в аналитическую типа зависимости (83) можно, воспользовавшись общими правилами аналитической геометрии. Пример такого преобразования дан в работе [14]. Уравнение (83) формулируется следующим образом: давление $p_{вт}$, передаваемое вентилятором в сеть, равно величине некоторого условного источника вентиляционного давления p_0 за вычетом потерь давления $A''\frac{G}{\gamma}$ и $B''\frac{G^2}{\gamma^2}$, зависящих от производительности вентилятора. Таким образом, величины $\frac{A''}{\gamma}$ и $\frac{B''}{\gamma^2}$ можно рассматривать как дополнительные удельные сопротивления участка, на котором расположен вентилятор. При подсчете общих удельных сопротивлений участка эти величины следует суммировать с величинами A' и B' в уравнении (2), определенными для данного участка. Величину p_0 выражают в виде разности давлений и размещают в контуре, в котором расположен вентилятор. Подобно ветровому и гравитационному давлению эта разность давлений может быть включена либо во внешний, либо в один из внутренних узлов сети как фиксированные источники или как плавающая разность давлений. Расположение большего и меньшего давлений, составляющих эту разность, должно соответствовать направлению движения воздуха в контуре, создаваемого вентилятором. При направлении движения по часовой стрелке величина p_0 положительна, в противном случае она отрицательна.

Вентиляционный дефлектор, включенный в аэродинамическую сеть здания, не является самостоятельным источником энергии, поскольку он лишь преобразует энергию ветрового потока. Однако математическое описание работы дефлекторов может быть весьма близким к описанию работы вентиляторов [14]. Расчетную характеристику дефлекторов можно выразить зависимостью

$$p_д = p_{0д} - B''G^2, \qquad (84)$$

где

$$p_{0д} = K\frac{v_в}{2g}\gamma_н;$$

$$B'' = \frac{\zeta_д \gamma_н}{\gamma_д^2 F_д^2 3600^2 \cdot 2g};$$

$\zeta_д$ — коэффициент местного сопротивления дефлектора;

$\gamma_н$ и $\gamma_д$ — объемный вес соответственно наружного воздуха и воздуха внутри дефлектора в $кГ/м^3$;

$F_д$ — площадь сечения патрубка дефлектора в $м^2$.

По аналогии со сказанным выше величину $p_{0д}$ можно рассматривать в виде источника вентиляционного давления, а величину $B''G^2$ — в виде потерь давления, зависящих от расхода среды на данном участке. Следовательно, все сказанное о размещении в аэродинамической сети вентиляторов может быть отнесено и к дефлекторам.

При совместном действии гравитационного, ветрового и вентиляционного давлений источник p_0 размещают в одном узле с прочими источниками давлений, алгебраически суммируя их величины.

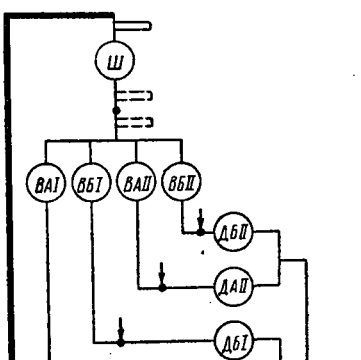


Рис. 15. Схема аэродинамической сети двухэтажного здания при заданном количестве приточного воздуха (местоположение источников давления при их размещении во внешнем узле обозначено сплошными линиями; в узле, объединяющем участки вентиляционной системы, — пунктиром, а в узле лестничной клетки — штрихпунктиром)

Примеры фиксирования и определения величин источников давлений при работе вентиляционного оборудования рассмотрены ниже.

Случай 9. В двухэтажном здании (см. рис. 11) работает система вытяжной вентиляции с механическим побуждением. Вентилятор установлен на чердаке. Характеристика его может быть выражена уравнением (83). Температура воздуха в помещениях и внутри вентиляционной системы здания равна температуре наружного воздуха. В помещения *А* и *Б* I и II этажей подается воздух в количестве G_0 *кг/ч*. Воздухопроницаемость окон весьма мала и в расчете не учитывается. Здание обдувается ветром со скоростью $v_в$. Схема аэродинамической сети здания (рис. 15) подобна схеме, представленной на рис. 12 для случая 6. Разница состоит лишь в том, что в узлы, моделирующие помещения I и II этажей, добавляется сосредоточенный расход G_0, моделирующий приток (на схеме он обозначен стрелками).

Сопротивление участка схемы *Ш* в данном случае изменяется. Его расчетное уравнение имеет вид:

$$\Delta p_{Ш} = \left(A' + \frac{A''}{\gamma}\right) G_{Ш} + \left(B' + \frac{B''}{\gamma^2}\right) G_{Ш}^2, \qquad (85)$$

где $\Delta p_{Ш}$ — перепад давлений по обе стороны участка *Ш*;

$G_{Ш}$ — весовой расход воздуха на этом участке.

Систему независимых контуров принимаем ту же, что и в случае 6.

Контуры I и III имеют источники давлений, контуры II и IV не имеют источников давлений. Величины ветровых давлений перед участками *ДЛ* и *Ш* с внешней стороны здания были определены раньше (см. случай 8). Источник вентиляционного давления p_0 приложен в узле, объединяющем участки *Ш* и *ВАI*, *ВБI*, *ВАII*, *ВБII*. Поскольку вентилятор вытяжной, меньшая величина давления размещается перед участками *ВАI*, *ВБI*, *ВАII*, *ВБII*, а бо́льшая — перед участком *Ш*. Если меньшую величину давления принять за нуль, давление перед участком *Ш* будет равно p_0.

Для возможности суммирования ветрового и вентиляционного давлений перенесем эти источники в общий узел сети. Таким узлом в нашем случае могут быть внешний узел сети, узел, объединяющий участки вентиляционной системы, и узел лестничной клетки. Разберем все три варианта размещения суммарных источников.

Размещение суммарных источников во внешнем узле сети. Величины ветровых давлений в этом случае составят:

перед участком *Ш*

$$p_{вШ} = (K_{Ш} - K_{ДЛ}) \frac{v_в^2}{2g} \gamma;$$

перед участком *ДЛ*

$$p_{вДЛ} = 0.$$

Величины вентиляционного давления:

перед участком *Ш*

$$p_{вт} = -p_0;$$

перед участком *ДЛ*

$$p_{вт} = 0.$$

Величины суммарного давления:

перед участком *Ш*

$$p_{сумШ} = (K_{Ш} - K_{ДЛ}) \frac{v_в^2}{2g} \gamma - p_0; \quad (86)$$

перед участком *ДЛ*

$$p_{сумДЛ} = 0. \quad (87)$$

Размещение суммарных источников в узле, объединяющем участки вентиляционной системы. Величины ветровых давлений в этом случае составят:

перед участком *Ш*

$$p_{вШ} = -(K_{Ш} - K_{ДЛ}) \frac{v_в^2}{2g} \gamma;$$

перед участками *ВАI, ВБI, ВАII, ВБII*

$$p_{вВАI} = 0.$$

Величины вентиляционного давления:

перед участком *Ш*

$$p_{вт\,Ш} = p_0;$$

перед участками *ВАI, ВБI, ВАII, ВБII*

$$p_{втВАI} = 0.$$

Величины суммарного давления:

перед участком *Ш*

$$p_{сумШ} = -(K_{Ш} - K_{ДЛ}) \frac{v_в^2}{2g} \gamma + p_0; \quad (88)$$

перед участками *ВАI, ВБI, ВАII, ВБII*

$$p_{сумВАI} = 0. \quad (89)$$

Размещение суммарных источников в узле лестничной клетки. Величин ветровых давлений в этом случае составят:

перед участком *ДЛ*

$$p_{\text{в}ДЛ} = 0;$$

перед участками *ДАI, ДБI, ДАII, ДБII*

$$p_{\text{в}ДАI} = -(K_{Ш} - K_{ДЛ}) \frac{v_{\text{в}}^2}{2g} \gamma.$$

Величины вентиляционного давления составят:

перед участком *ДЛ*

$$p_{\text{вт}ДЛ} = 0;$$

перед участками *ДАI, ДБI, ДАII, ДБII*

$$p_{\text{вт}ДАI} = p_0 \cdot$$

Величины суммарного давления:

перед участком *ДЛ*

$$p_{\text{сум}ДЛ} = 0; \qquad (90$$

перед участками *ДАI, ДБI, ДАII, ДБII*

$$p_{\text{сум}ДАI} = -(K_{Ш} - K_{ДЛ}) \frac{v_{\text{в}}^2}{2g} \gamma + p_0. \qquad (91$$

Случай 10. Здание и расчетные условия те же, что и в предыдущем слу чае, но температура воздуха внутри здания (в помещениях и в лестничной клетке) и снаружи здания различна ($t_{\text{в}} \neq t_{\text{л}} \neq t_{\text{н}}$).

В данном случае в число источников кроме ветра и вентиляционного дав ления входит гравитационное давление. Как и остальные источники, оно дей ствует в контурах I и III. Величин гравитационных давлений определе ны при разборе случая 6. Установле но, что их фиксирование целесооб разно в одном из двух внутренни узлов сети (в лестничной клетке ил в узле, объединяющем участки вен тиляционной системы). Исходя и этих соображений в данном случа мы исключаем вариант фиксировани суммарных давлений во внешне узле сети и исследуем лишь вариан размещения и суммирования их в уз ле лестничной клетки.

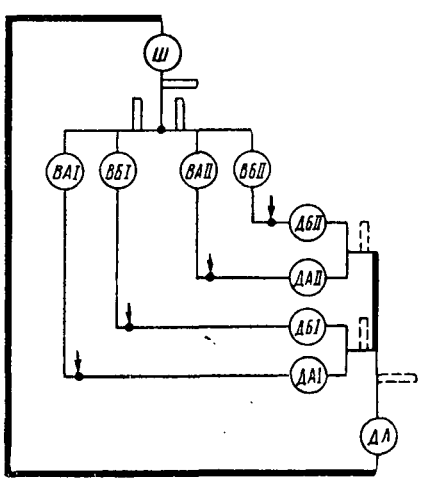


Рис. 16. Схема аэродинамической сети двухэтажного здания при наличии приточной вентиляции и различной температуре воздуха внутри и снаружи здания

В схеме аэродинамической сет здания на рис. 16 показано местопо ложение источников давлений ка для варианта их размещения в узл лестничной клетки (пунктир), так для варианта их размещения в узл объединяющем участки вентиля ционной системы (сплошные ли нии).

Величина гравитационного дав ления перед участком *ДЛ* со ставит:

$$p_{\text{г}ДЛ} = 0.$$

Величина ветрового давления

$$p_{вДЛ} = 0.$$

Величина вентиляционного давления

$$p_{втДЛ} = 0.$$

Следовательно, величина суммарного давления

$$p_{сумДЛ} = 0. \qquad (92)$$

Величина гравитационного давления перед участками *ДАI* и *ДБI*

$$p_{гДАI} = -(\gamma_в - \gamma_н)(h_Ш - h_{ДАI}) - (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ДАI} - h_{ДЛ}).$$

Величина ветрового давления

$$p_{вДАI} = -(K_Ш - K_{ДЛ})\frac{v_в^2}{2g}\gamma.$$

Величина вентиляционного давления

$$p_{втДАI} = p_0.$$

Величина суммарного давления

$$p_{сумДАI} = -(\gamma_в - \gamma_н)(h_Ш - h_{ДАI}) - (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ДАI} - h_{ДЛ}) - \\ - (K_Ш - K_{ДЛ})\frac{v_в^2}{2g}\gamma + p_0. \qquad (93)$$

Величина гравитационного давления перед участками *ДАII* и *ДБII* составит:

$$p_{гДАII} = -(\gamma_в - \gamma_н)(h_Ш - h_{ДАII}) - (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ДАII} - h_{ДЛ}).$$

Величина ветрового давления

$$p_{вДАII} = -(K_Ш - K_{ДЛ})\frac{v_в^2}{2g}\gamma.$$

Величина вентиляционного давления

$$p_{вт} = p_0.$$

Суммарное давление

$$p_{сумДАII} = -(\gamma_в - \gamma_н)(h_Ш - h_{ДАII}) - (\gamma_л - \gamma_н)(h_{ДАII} - h_{ДЛ}) - \\ - (K_Ш - K_{ДЛ})\frac{v_в^2}{2g}\gamma + p_0. \qquad (94)$$

г) Общие правила определения величин и размещения в схеме источников давлений

На основании приведенного выше рассмотрения можно наметить такую последовательность определения величин и размещения в схеме источников давлений.

1. Рассматриваем схему аэродинамической сети здания, выделяя из нее узлы с наибольшим количеством ветвей, присоеди-

няющих участки к стволу узла. Как видно из предыдущего, к та
ким узлам относятся: а) внешний узел (атмосфера); б) лестни
ная клетка или лифтовая шахта; в) вентиляционная камер
сборная шахта или точка разветвления вентиляционной систем
Назовем такие разветвленные узлы, связывающие различны
этажи здания и различно ориентированные по странам света по
мещения, «связями».

2. Выделяем основную связь, т. е. узел, который, по нашем
предположению, имеет наибольшее число ветвей, присоединяю
щих независимые контуры источникам давлений. В тако
узле располагаем фиксированные источники давлений.

3. Ориентируясь на выделенную нами основную связь, выби
раем независимые контуры с источниками давлений таким об
разом, чтобы все или бо́льшая часть таких контуров прохо
дили через две ветви этой связи: нижнюю, общую для всех ко
туров, и вторую, относящуюся только к данному контуру. Пр
таком выборе независимых контуров величины фиксированны
источников давлений определяются наиболее просто. Так, пр
нимая фиксированное давление на нижней ветви основной связ
$p_{\text{нижн}} = 0$, давление на любой из других ветвей p_i определим ка
суммарное давление в контуре, проходящем через данну
ветвь:

$$p_i = p_{\text{сум}} = \pm |\Sigma h_{\text{п}} \gamma_{\text{п}} - \Sigma h_{\text{л}} \gamma_{\text{л}}| \pm \left|(K - K_0)\frac{v_{\text{в}}^2}{2g}\gamma\right| \pm \pm |\Sigma p_0|, \quad (9$$

где $|\Sigma h_{\text{п}} \gamma_{\text{п}} - \Sigma h_{\text{л}} \gamma_{\text{л}}|$ — абсолютная величина гравитационного да
ления в данном контуре;

$\left|\left(K - K_0\right)\frac{v_{\text{в}}^2}{2g}\gamma\right|$ — абсолютная величина ветрового давления
данном контуре;

$|\Sigma p_0|$ — абсолютная величина вентиляционного да
ления в данном контуре (считая однозна
ными источники вентиляционного давлени
вызывающие движение воздуха в контуре
одном направлении).

Таблица

Знаки, проставляемые перед членами равенства (95)

Местоположение источников давлений	Направление движения, вызываемое источником давления	
	по часовой стрелке	против часовой стре.
Правая часть контура	—	+
Левая часть контура	+	—

Знак плюс или минус перед членами правой части равенства (95) принимается в зависимости от направления движения через участки контура, вызываемого источниками давления, и от местоположения фиксированных источников давлений (табл. 1).

В случае, если фиксированное давление в нижней ветви основной связи, через которую проходит данный контур, не равно нулю, давление на вышерасположенной ветви определяется по формуле

$$p_i = p_{\text{сум}} + p_{\text{нижн}}. \qquad (96)$$

Если окажется, что число ветвей в выбранной основной связи недостаточно для размещения фиксированных давлений, следует проверить, нельзя ли разместить все источники в виде фиксированных давлений в какой-либо другой связи схемы. Если такой связи не существует, необходимо выделить и разместить в схеме плавающие разности давления так, как это показано в расчетном случае *5*, и откорректировать величины фиксированных давлений, если это необходимо.

Зависимость (95) описывает наиболее общий случай определения источников давлений, когда они возникают вследствие разности температур наружного и внутреннего воздуха, а также воздуха внутри различных помещений и каналов вентиляции, под воздействием ветра и работы вентиляционного оборудования. Во многих случаях действуют не все, а только часть названных источников давления. Расчет при этом соответственно упрощается.

Так, в случае, когда температуру во всех помещениях и вентиляционных системах здания можно считать одинаковой и в здании не работает вентиляционное оборудование, величину $p_{\text{сум}}$ можно определить по выражению

$$p_{\text{сум}} = \pm (\gamma_{\text{в}} - \gamma_{\text{н}})(h_{\text{верхи}} - h_{\text{нижн}}) \pm (K - K_0)\frac{v_{\text{в}}^2}{2g}\gamma, \qquad (97)$$

где $\gamma_{\text{в}}$ и $\gamma_{\text{н}}$ — объемный вес соответственно внутреннего и наружного воздуха в $кГ/м^3$;

$h_{\text{верхн}}$ и $h_{\text{нижн}}$ — соответственно верхняя и нижняя отметка ветвей контура, сообщающихся с наружным воздухом, в *м*.

При размещении источников во внешнем узле сети все члены правой части уравнения (97) принимаются со знаком плюс, при размещении их в одном из внутренних узлов — со знаком минус.

В качестве нижней ветви сети удобно выбрать ветвь, присоединяющую вход здания к основной связи (внешнему узлу или узлу лестничной клетки). В этом случае определение величин источников при размещении их во внешнем узле сети может быть выполнено без специального выделения независимых контуров с источниками давлений по зависимостям типа (38) и (75)—(79), что равнозначно определению их с помощью внешнего избыточ-

ного (или фиктивного) давления, а при размещении их во внутреннем узле сети может быть выполнено по зависимостям типа (39) и (80)—(82), что равнозначно определению их с помощью внутреннего избыточного давления.

4. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА

Расчет воздухообмена в здании повышенной этажности сводится к решению системы уравнений, выраженных зависимостями (2)—(4). Эта система уравнений составляется на основании схемы аэродинамической сети здания, характеристик участков A' и B', а также источников давлений и расходов (граничных условий), определенных в соответствии с изложенными выше основными правилами. Неизвестными в этой системе в большинстве случаев являются расходы G по всем (или отдельным) участкам. Перепады давлений p_1—p_2 по участкам легко определяются в процессе решения задачи или подсчитываются по окончании решения в соответствии с зависимостью (2) с помощью полученных значений G.

Задачи расчета воздухообмена в такой постановке относятся к обратным задачам гидравлического расчета (задачам второго типа) [14]. Их решение представляется весьма сложным, особенно при большом числе участков в системе. Для части таких задач имеются аналитические и графоаналитические методы расчета [14, 28], однако весьма приближенные и трудоемкие.

Таблица 2

Основные показатели методов математического моделирования воздухообмена в зданиях

Показатели	Единица измерения	Установка и метод расчета			
		стенд гидравлического моделирования	две спаренные установки ЭМВС-6	БЭСМ-2М	
				по программе А (с применением линеаризации и последующим решением системы методом Ньютона)	по программе Б (усовершенствованный увязочный метод расчета)
Число участков схемы (или неизвестных в системе уравнений)	шт.	150	200	100	399
Точность расчета (по расходам) . . .	%	10	10	0,5	0,5
Диапазон сопротивлений	%	$1:10^4$	$1:10^3$	$1:10^5$	$1:10^5$
Время сборки схемы или подготовки информации для счета	ч	40—80	2—4	15—25	15—25
Время счета . . .	»	1—2	1—2	0,1—0,2	0,2—0,4
Условия задачи . .	—	Любые (при достаточном количестве исходных данных)		Все источники давлений и расходов заданы	

Эффективное и наиболее точное решение указанной системы может быть получено при использовании методов математического моделирования, из которых в настоящее время практически используются следующие (табл. 2):

1) метод гидравлической аналогии, разработанный в НИИ санитарной техники в 1959 г. [11, 14];

2) метод электрической аналогии с применением установки ЭМВС-6, разработанный в НИИ санитарной техники в 1965 г. [19];

3) метод расчета на электронной вычислительной машине БЭСМ-2М, разработанный Иркутским энергетическим институтом АН СССР в 1965 г. [31].

Анализируя приведенные в таблице данные, видим, что по точности расчета и широте диапазона сопротивлений расчет на электронной вычислительной машине по обеим программам имеет преимущества перед расчетом на аналоговых установках. Расчет по программе Б имеет преимущества также по максимальному числу участков схемы.

Однако методы расчета на аналоговых установках позволяют решать задачи в любой их постановке, в то время как расчеты на электронной вычислительной машине требуют строго определенной формы исходной информации. Это можно квалифицировать как существенное преимущество расчетов на аналоговых установках, особенно для инженерных расчетов, когда условия задачи могут изменяться самым различным образом.

Сравнивая между собой методы расчета на гидро- и электроаналоговых установках, видим, что первый характеризуется более широким диапазоном сопротивлений, а это весьма существенно для расчета аэродинамической сети зданий, включающей большие сборные каналы или открытые проемы наряду с уплотненными элементами наружных ограждений (закрытыми окнами, дверями и т. п.). Кроме того, метод расчета и конструкция стенда гидроаналогии являются более простыми и доступными для освоения инженерами санитарно-технического профиля. В то же время электроаналоговые устройства имеют преимущества по быстроте и удобству сборки схемы, получению показаний приборов.

5. СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА С ДАННЫМИ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Расчет аэродинамической системы здания в соответствии с изложенной выше методикой позволяет получить данные, которые легко могут быть сопоставлены с соответствующими данными натурных исследований. Наиболее наглядная картина получается при сопоставлении составленных по натурным и расчетным данным эпюр избыточных давлений и перепадов давлений (см. рис. 4, *а* и 5, *а*). Как видно из рис. 4, *а*, при малой ско-

рости ветра, когда воздухообмен происходит практически только под влиянием гравитационного давления, натурные и расчетные данные почти совпадают. При высокой скорости ветра, когда воздухообмен происходит при совместном воздействии ветра и гравитационного давления, сопоставление натурных и расчетных данных не дает такой четкой картины (см. рис. 5, *а*). В рассматриваемом случае скорость ветра изменялась во время натурных замеров в пределах 6—9 *м/сек*. Расчет воздухообмена выполнялся соответственно при каждом из этих двух крайних значений скорости ветра. Как видно из рисунка, данные натурных замеров перепадов давлений в квартирах в основном (за исключением одной точки из 12 замеренных) укладываются в область, определенную расчетом. Данные замеров распределения давлений в лестничной клетке почти совпадают с соответствующими результатами расчета при скорости ветра 6 *м/сек*.

Сопоставление данных расчета и данных натурных замеров позволяет в ряде случаев выявить общую картину строительных или эксплуатационных дефектов. Так, если при расчетной производительности вентиляции в основных помещениях здания (квартирах) по натурным данным получаются значительно меньшие избыточные давления, чем по расчету, это объясняется чаще всего плохим качеством наружных ограждений (большая воздухопроницаемость) или слабой работой вытяжной вентиляции.

Если избыточные давления, полученные по натурным данным, в нижних этажах зданий значительно больше давлений, полученных по расчету, это обычно свидетельствует о том, что в связи с большой воздухопроницаемостью внутренних ограждений все здание работает как единый воздушный объем со значительным перетеканием воздуха из нижних этажей здания в верхние. Об этом же может свидетельствовать и значительное увеличение объема естественной вытяжки в верхних этажах против расчетного. Такие явления наблюдаются при плохом качестве дверей, отделяющих лестнично-лифтовые узлы от основных помещений (или при недостаточном их использовании), плохой изоляции помещений от санитарно-технических шахт, а также низком качестве заделки в последних междуэтажных диафрагм.

Возникновение эксфильтрации через наружные ограждения верхних этажей (в то время как по расчету в них должна быть инфильтрация) при нормальной работе вытяжной вентиляции обычно свидетельствует об общей повышенной воздухопроницаемости как внутренних, так и наружных ограждений всего здания.

Расположение зоны нулевых избыточных давлений в лестнично-лифтовом узле ниже расчетного уровня чаще всего свидетельствует о плохой работе систем естественной вытяжной вентиляции в целом по зданию или по его секции. Однако такое положение может наблюдаться и при плохом уплотнении наружного входа или плохо прикрытых наружных дверях.

Превышение зоны нулевых избыточных давлений в лестнично-лифтовом узле над расчетным уровнем может свидетельствовать о наличии неплотностей, сообщающих его верхнюю часть с наружным воздухом.

Подпор со стороны основных помещений нижних этажей по отношению к лестничной клетке при подаче в нее расчетного количества воздуха, исключающего перетекание между этажами, может свидетельствовать о плохом качестве (или эксплуатации) дверей, поэтажно отделяющих лестнично-лифтовой узел от коридоров, либо о плохой работе вытяжной вентиляции нижних этажей.

Подобные сопоставления могут использоваться для определения и устранения в готовых зданиях дефектов, вызывающих ухудшение воздушной среды и микроклимата помещений.

ГЛАВА III

КОНСТРУКТИВНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ РАЦИОНАЛЬНЫЙ ВОЗДУХООБМЕН В ЗДАНИЯХ

Задача организации рационального воздухообмена заключается в создании условий, при которых в здании осуществляется соответствующая гигиеническим требованиям схема воздухообмена, нормативное поступление чистого воздуха в помещения, комфортный микроклимат и эффективная работа вентиляционных устройств при минимальных капитальных и эксплуатационных затратах на вентиляцию и на подогрев наружного воздуха.

Оптимальной в гигиеническом отношении схемой воздухообмена для жилых зданий, больниц, детских учреждений и других зданий с повышенными гигиеническими требованиями следует считать такую, при которой исключается систематическое поступление воздуха из помещений нижних этажей в помещения верхних этажей.

Рациональный воздухообмен в здании может обеспечить только комплекс мероприятий, включающий прежде всего рациональные конструктивно-планировочные решения самого здания, учитывающие специфику его воздухообмена. В этот комплекс входят также рациональные схемы вентиляции, рассчитанные с учетом аэродинамической системы здания, и системы отопления, запроектированные с учетом влияния нифильтрации наружного воздуха.

За период 1963—1966 гг. в НИИ санитарной техники методами математического моделирования (в основном методами гидро- и электроаналогии) было осуществлено около 500 вариантов расчета воздухообмена в зданиях высотой 9, 12, 16 и 25 этажей. На основании этих исследований, а также натурных данных уста-

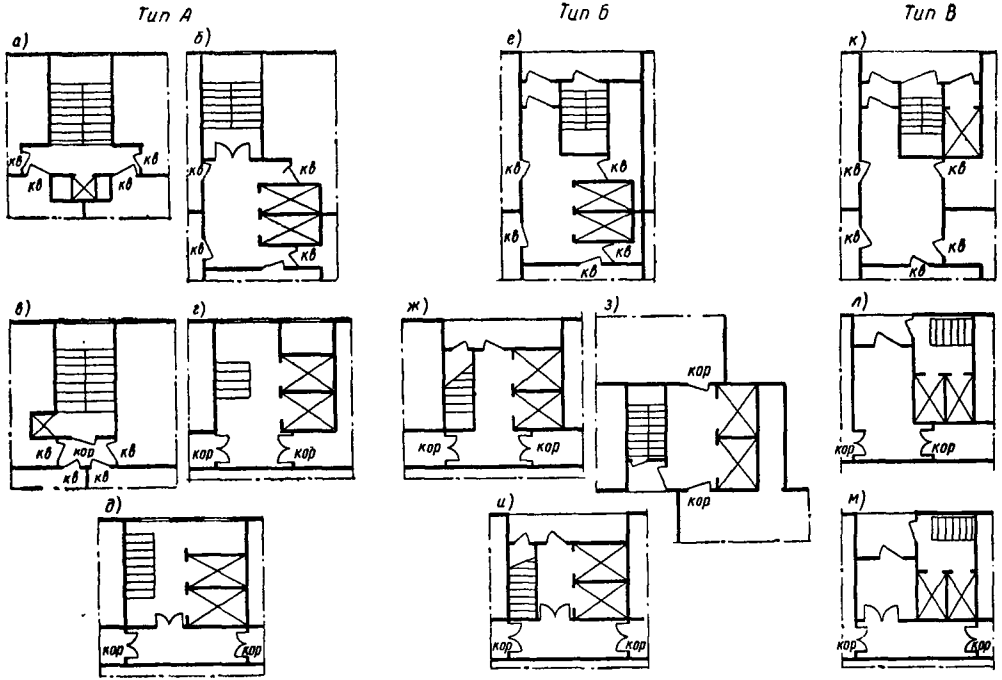


Рис. 17. Варианты планировочных решений жилых зданий повышенной этажности (фрагменты планов типовых этажей; *кв* — входные двери в квартиры; *кор* — входные двери в коридоры)

а, *в* — 9—12-этажное секционное здание серии ЛГ-600-5; *б*, *е*, *к* — 16-этажное здание серии II-60-01/14-2 (типа «башня»); *г*, *ж*, *л* — 16-этажное здание серии МГ-601Д; *д*, *и*, *м* — 16-этажное здание серии II-60-01/16-5 (типа «пластинка»); *з* — 25-этажное здание для застройки проспекта Калинина

новлены рекомендации по созданию рациональных схем воздухообмена в жилых зданиях повышенной этажности.

На рис. 17 представлены фрагменты 12 современных планировочных решений, которые можно разделить на три типа: А — лестничная клетка и лифтовая шахта включены в основной объем здания; наружные входы располагаются в этом случае только в первом этаже; Б — лестничная клетка отделена от основного объема здания открытыми поэтажными наружными переходами («незадымляемая» лестничная клетка); В — весь лестнично-лифтовой узел отделен от основного объема здания открытыми поэтажными наружными переходами и, следовательно, вынесен за пределы основной части здания.

Внутри каждого из указанных типов планировки разделяются следующим образом: двери квартир выходят непосредственно в лестнично-лифтовой холл или входной вестибюль (верхний ряд планировок на рис. 17); двери квартир в каждом этаже выходят в коридоры, отделенные одной дверью от лестнично-лифтовых холлов или вестибюлей (средний ряд на рис. 17); двери квартир в каждом этаже выходят в коридоры, отделенные двумя последовательно установленными дверями от лестнично-лифтовых холлов или вестибюлей (нижний ряд на рис. 17).

В основу исследования положены типовые проекты, разработанные ЛенЗНИИЭП (рис. 17, *а* и *в*), МНИИТЭП (рис. 17, *б*, *г*, *д*, *е*, *ж*, *и*, *к*, *л*, *м*) и Моспроектом-2 (рис. 17, *з*).

Для исследования влияния на воздухообмен числа квартир на каждом этаже, обслуживаемых одним лестнично-лифтовым узлом, рассмотрены варианты типовых проектов серий ЛГ-600-5 и II-60-01/14-2 с увеличенным вдвое числом квартир и серии II-60-01/16-5 с числом квартир 5 и 10 вместо 18 по проекту.

Для расчета выбраны следующие метеорологические условия: температура наружного воздуха $t_н = -5°$ С без ветра и в сочетании с ветром скоростью 5, 7 и 9 *м/сек*; $t_н = -20, -26, -40°$ С в сочетании с ветром скоростью 5 *м/сек* и $t_н = -30°$ С в сочетании с ветром скоростью 5, 7 и 9 *м/сек*. Номинальная скорость ветра 5 *м/сек*, соответствующая расчетной скорости ветра основной части средней климатической полосы СССР, заменялась в расчетах скоростями от 2 до 6 *м/сек* в зависимости от температуры наружного воздуха и высоты помещения над поверхностью земли согласно имеющимся климатическим данным. Номинальные скорости ветра 7 и 9 *м/сек* заменялись соответственно скоростями от 4 до 8 и от 6 до 10 *м/сек*.

Воздухопроницаемость наружных ограждений определялась с учетом требований СНиП II-В.6-62 в отношении окон и балконных дверей (дифференцированно в зависимости от расчетных температур наружного воздуха, скорости ветра и этажности зданий), а также требований СНиП II-А.7-62 в отношении стен и стыков панельных конструкций. В соответствии с этими требо-

ваниями были приняты коэффициенты воздухопроницаемости окон с учетом воздухопроницаемости стен и стыков (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициенты воздухопроницаемости окон i в $м^3/м^2 \cdot ч \cdot мм$ вод. ст., принятые при исследованиях

$t_н$, °С	Скорость ветра в *м/сек*	i при этажности зданий	
		9 и 12	16 и 25
—5; —20; —26; —30	До 5 вкл.	6,5	6
—5; —30	» 9 »	4,6	
—40	» 5 »		

При определении воздухопроницаемости закрытых дверей средняя ширина щелей по их периметру принималась равной 2 *мм* для квартирных дверей и 3 *мм* для дверей между лестницами и коридорами и наружных входов в здание.

Решение вентиляции в большинстве вариантов принято соответствующим СНиП для жилых зданий: естественная вытяжка из кухонь и санитарных узлов квартир в объеме, предусмотренном СНиП II-Л.1-62. Расчетная температура наружного воздуха для работы систем естественной вытяжной вентиляции принята равной $t_н = -5°$ С. Помимо основного решения исследовался также воздухообмен при наличии притока воздуха в лестничную клетку. При этом объем притока был принят достаточным для исключения вертикального перетекания воздуха между этажами по лестнично-лифтовым шахтам. Для части планировочных вариантов в 9, 12 и 16-этажных зданиях исследовано распределение воздушных потоков при притоке в помещения, равном вытяжке, а также при превышении притока над вытяжкой на однократный объем здания.

По результатам исследований планировочные решения зданий, оборудованных естественной вытяжной вентиляцией, можно разделить на две основные гигиенические группы (табл. 4): к первой группе отнесем планировки, при которых исключено систематическое перетекание воздуха по лестницам, лифтам и другим вертикальным шахтам из нижних этажей здания в верхние (благоприятный в гигиеническом отношении вариант), ко второй группе — планировки, при которых такое перетекание наблюдается (неблагоприятный вариант).

Гигиенические качества планировочных решений второй группы могут быть приравнены к гигиеническим качествам планировочных решений первой группы только при осуществлении специальных мероприятий, исключающих перетекание воздуха из

Таблица 4

Характеристика гигиенических групп планировочных решений (естественная вытяжная вентиляция)

Гигиеническая группа планировочных решений	Тип планировочного решения	Вариант планировочного решения на рис. 17	Этажность здания	Расход тепла при $t_н$=—26 °С в % к основным теплопотерям		
				на подогрев инфильтрующегося воздуха	на подогрев воздуха, подаваемого в лестнично-лифтовой узел	
					при отсутствии мусоропровода в лестничной клетке	при наличии мусоропровода в лестничной клетке
Первая (перетекание воздуха между этажами исключено)	А	*в*	9	98	0	0
	Б	*ж**	16	118	0	0
		*и**	16	109		
	В	*к*	16	108	0	0
		л	16	115		
		м	16	108		
Вторая (перетекание воздуха между этажами имеется)	А	*а*	9	103	37	—
		а	12	98	43	—
		б	16	108	13	20
		в	12	97	15	—
		г	16	120	15	22
		д	16	111	2	3,5
	Б	*е*	16	90	26	—
		з	25	87	26	—

* Варианты *ж* и *и* типа Б могут быть отнесены к первой гигиенической группе только при неуплотненных поэтажных выходах. При специальном их уплотнении они должны быть отнесены ко второй гигиенической группе.

квартир нижних этажей в квартиры верхних этажей. Такими мероприятиями являются подача воздуха в нижнюю зону лестничных клеток или лифтовых шахт путем естественного (гравитационного) побуждения, а также подача воздуха в поэтажные коридоры или холлы. Величины дополнительного расхода тепла на подогрев воздуха, подаваемого в лестнично-лифтовой узел, приведены в табл. 4.

Анализ влияния планировочного решения лестнично-лифтового узла здания на схему воздухообмена и расход тепла показывает, что рациональная группировка вертикальных шахт здания

имеет большое значение. Примером нерациональной группировки вертикальных шахт служат варианты планировочных решений, приведенные на рис. 17, *а* и *б*, примером рациональной группировки — варианты на рис. 17, *в* и *д*. В первом случае в поэтажные холлы, куда выходят двери всех квартир, выходят двери лифтов, а также открыто расположенная либо отделенная дверью лестничная клетка. Во втором случае весь лестнично-лифтовой узел сгруппирован вместе и поэтажно отделен дверью от коридора, в который выходят двери квартир. Такую группировку для жилых зданий повышенной этажности следует считать обязательной.

Результаты расчета показывают, что для зданий высотой девять этажей поэтажного отделения дверями лестнично-лифтового узла от коридора квартир (см. рис. 17, *в*) достаточно для исключения перетекания воздуха между этажами. Для зданий высотой 12 и более этажей такого мероприятия оказывается недостаточно. В зданиях высотой 12—16 этажей при поэтажном отделении лифтового холла от квартир дверью исключить перетекание воздуха можно при устройстве неуплотненных поэтажных наружных переходов (см. рис. 17, *ж* и *и*). В зданиях особо высоких (выше 16 этажей), а также в 14—16-этажных зданиях типа «башня» исключить такое перетекание планировочными средствами можно только при полном отделении лестнично-лифтового узла поэтажными наружными переходами (см. рис. 17, *к*, *л*, *м*).

Сравним два различных варианта размещения дверей в здании: установку двойных дверей в каждой квартире и установку дополнительно к одинарным квартирным дверям одной двери, отделяющей поэтажно лестнично-лифтовой узел от коридора, в который выходят квартирные двери. В здании с пятью квартирами на этаже, в котором имеется перетекание воздуха между квартирами и лестничной клеткой, размещение дверей по первому варианту уменьшит расход проходящего через квартирные двери воздуха в 1,4 раза, а размещение их по второму варианту сократит этот расход в 5,1 раза. В здании с 18 квартирами на этаже это различие еще больше: размещение дверей по второму варианту сократит расход воздуха, поступающего в квартиры, в 18,3 раза, в то время как размещение их по первому варианту сократит этот расход только в 1,4 раза. Следовательно, второй вариант размещения квартирных дверей значительно целесообразнее.

Сравним эффективность осуществления планировочных решений лестнично-лифтового узла в здании типов Б и В с типом А (см. рис. 17). Для зданий с большим числом квартир, приходящихся на одну лестничную клетку, например для 16-этажного здания типа «пластинка» (см. рис. 17, *д*, *и*, *м*), изменение планировки лестнично-лифтового узла практически не влияет на величину инфильтрации наружного воздуха (см. табл. 4). Подача наружного воздуха в лестничную клетку здесь не вызывает серьез-

ного увеличения потерь тепла. В связи с этим планировочные решения для здания «пластинка» типа А (с притоком в лестничную клетку) как по гигиеническим качествам, так и по расходам тепла на подогрев поступающего в здание воздуха следует считать равноценными решениям типа Б и В. При уменьшении числа квартир на каждом этаже влияние планировки лестнично-лифтового узла на схему воздухообмена и расход тепла увеличивается. Так, в 16-этажном здании типа «башня» отделение всего лестнично-лифтового узла от основной части здания наружными переходами (см. рис. 17, *к*) позволяет исключить перетекание значительных объемов воздуха и снизить расход тепла на подогрев наружного воздуха по сравнению с вариантом подачи воздуха в лестничную клетку (см. рис. 17, *б*) на 20% основных теплопотерь. Это свидетельствует о целесообразности принятия различных планировочных решений для зданий с различным числом квартир на этаже.

Сопоставление планировочных решений с размещением за лестнично-лифтовым узлом двух последовательно расположенных дверей и одной двери показывает, что различие в величинах инфильтрующегося воздуха и соответственно в надбавках к теплопотерям для этих двух случаев невелико. Однако при необходимости осуществления притока воздуха в лестничную клетку предпочтительнее установка двух последовательно расположенных дверей, поскольку необходимый объем подачи приточного воздуха при этом значительно сокращается.

Рассмотрение результатов исследования указанных планировочных вариантов, а также результатов исследования воздухообмена в ряде зданий более раннего периода строительства позволило сформулировать ряд рекомендаций по конструктивно-планировочному выполнению зданий с целью обеспечения рационального воздухообмена в них.

1. Планировочные решения здания должны предусматривать минимальное число вертикальных шахт (лифтовых, лестничных, санитарно-технических и т. д.), непосредственно включенных в основной объем здания. Следует осуществлять группировку этих шахт для уменьшения числа дверей, поэтажно сообщающих шахты с основной частью здания.

2. Для всех планировочных решений обязательна установка закрывающихся дверей на пути максимальных воздушных потоков в здании (непосредственно у выходов из лестничных, лифтовых шахт и пр.). Такое размещение дверей значительно более целесообразно, чем установка двойных или уплотненных одинарных дверей непосредственно у входов в квартиры.

3. В зданиях повышенной этажности, оборудованных естественной вытяжной вентиляцией, для обеспечения благоприятных гигиенических условий и предотвращения излишних расходов тепла следует предусматривать:

а) при высоте зданий 9—11 этажей поэтажную установку две-

рей, отделяющих лестнично-лифтовой узел от коридоров или холлов, в которые выходят квартирные двери;

б) при высоте зданий 12 и более этажей помимо мероприятия, указанного в п. «а», естественный приток подогретого воздуха в нижнюю зону лестнично-лифтового узла или в общие поэтажные холлы и коридоры;

в) при высоте зданий башенного типа 16 и более этажей выносные лестнично-лифтовые узлы с открытыми переходами в основной объем здания для каждого этажа или для группы этажей.

4. Подсобные помещения со значительным выделением запахов, влаги или других вредностей (постирочные, столовые, магазины) должны иметь самостоятельные наружные выходы, не сообщающиеся с основной частью здания.

Выполнение всех этих рекомендаций может дать надлежащий санитарно-гигиенический и экономический эффект только при условии соблюдения всех установленных требований в отношении качества строительства и эксплуатации наружных и внутренних ограждений здания (см. СНиП II-В.6-62 и СНиП II-А.7-62).

Внутри санитарно-технических шахт необходима воздухонепроницаемая заделка мест пропуска электрических, газовых, тепловых и других проводок через перекрытия.

Двери в лестничных клетках и коридорах должны автоматически закрываться.

ГЛАВА IV

РАБОТА СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

1. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СИСТЕМАМ ВЕНТИЛЯЦИИ

Системы вентиляции должны обеспечивать соответствующее гигиеническим требованиям состояние воздушной среды каждой квартиры. При этом можно считать допустимым изменение их производительности в небольших пределах, поскольку, как показали исследования [10, 39], отклонения производительности систем естественной вытяжной вентиляции в пределах $\pm 30\%$ от нормативной не приводят к заметным изменениям в составе воздуха в квартирах.

Очень важной задачей вентиляции является своевременное удаление вредностей (в момент их выделения).

В газифицированных жилых зданиях, оборудованных плитами с непосредственным выбросом продуктов сгорания в помещения, целесообразно обеспечивать три различных режима вентиляции зданий [5]:

первый режим — круглосуточный воздухообмен в квартире исходя из объема вытяжной вентиляции, требуемого СНиП II-Л.1-62: 3 $м^3/ч$ на 1 $м^2$ площади комнат, но не менее 60 $м^3/ч$ при двухконфорочных плитах, 75 $м^3/ч$ при трехконфороч-

ных плитах и 90 $м^3/ч$ при четырехконфорочных плитах; потери тепла на подогрев инфильтрующегося наружного воздуха компенсируются при этом системой отопления;

второй режим — периодическое увеличение воздухообмена в кухнях (во время приготовления пищи на газовых плитах) до 170—350 $м^3/ч$, что дает 10—15-кратный воздухообмен в этих помещениях, причем потери тепла, вызванные усиленной инфильтрацией наружного воздуха, в этот период компенсируются тепловыделениями плит;

третий режим — периодическое поступление больших объемов наружного воздуха через открывающиеся окна, фрамуги, форточки в наружных ограждениях всех жилых комнат, кухонь, лестничных клеток (проветривание помещений) без специальной компенсации дополнительных теплопотерь в этот период.

Объемы вентиляционного воздуха не должны превышать требуемых по нормативным данным или гигиеническим соображениям, поскольку во многих случаях такое превышение ведет к неоправданному увеличению расходов тепла. Тепло расходуется либо непосредственно на подогрев избыточных количеств приточного воздуха в системе вентиляции, либо в скрытом виде на подогрев воздуха, инфильтрующегося в здание через неплотности наружных ограждений.

В связи с большой разностью уровней забора и выброса воздуха в нижних этажах зданий повышенной этажности возникает серьезная опасность неоправданного увеличения производительности вытяжной вентиляции. Это приводит к значительным перерасходам тепла на подогрев инфильтрующегося воздуха, а также возникновению других явлений, сопутствующих инфильтрации («дутье» от окон, резкое охлаждение внутренней поверхности окон и стен и пр.).

Исследования воздухообмена 16-этажных зданий, планировочное решение которых приведено на рис. 17, *б*, показали, что при первоначально запроектированных в них системах естественной вытяжной вентиляции из унифицированных вентиляционных блоков заводского изготовления расход тепла из-за избыточной работы естественной вытяжной вентиляции увеличивался до 30% основных теплопотерь в этих помещениях. Аналогичные расчеты, выполненные для 25-этажного здания, показали возможность сокращения расходов тепла на подогрев инфильтрующего воздуха на 25% в целом по зданию по сравнению с первоначально запроектированным вариантом только путем достижения нормативной вытяжки в нижних этажах [18].

Площадь поперечного сечения вентиляционных каналов, проходящих через помещения, должна быть минимальной. Если в зданиях малой и средней этажности (до 8 этажей) размещение обособленных вентиляционных каналов для помещений, расположенных на разных этажах здания по одной вертикали, как правило, не вызывает серьезных затруднений при проектировании

и не влияет существенно на экономичность проекта, то в зданиях повышенной этажности в связи с возрастанием числа помещений, расположенных по одной вертикали, размещение обособленных вентиляционных каналов для помещений всех этажей становится весьма затруднительным. В связи с этим приходится объединять каналы по вертикали, переходя к усложненным системам (вентиляционные каналы с перепусками, одноканальные системы и пр.). Такие системы могут обеспечить эффективную работу (равномерное и устойчивое распределение расходов по этажам) только при условии надлежащего расчета, строго учитывающего соотношение сопротивлений отдельных конструктивных элементов систем и общую схему воздухообмена в здании.

Необходимо сочетать эффективную работу вентиляционных систем с требованиями индустриального строительства. Вентиляционные системы подобно другим конструктивным элементам зданий повышенной этажности выполняются, как правило, из унифицированных элементов заводского изготовления (вентиляционных блоков). По технологическим требованиям производства необходимо стремиться к упрощению конструктивных схем систем. Надлежащая эффективность работы вентиляционных систем должна быть обеспечена возможностью гибкой проектно-монтажной регулировки систем в процессе монтажа вентиляционных блоков в строящемся здании.

Объединение вентиляционных каналов в общие системы, а также повышенные скорости во входных отверстиях, обусловленные использованием унифицированных вентиляционных блоков, требуют серьезного внимания к вопросам акустики вентиляционных систем в зданиях. При этом необходимо решение вопросов звукоглушения работающего оборудования, уменьшения звукопередачи между помещениями разных этажей, объединенными общей системой, и снижения уровня шума в дросселирующих устройствах ответвлений, где могут возникать большие скорости воздушного потока.

Существенные изменения давления внутри помещений, которые могут возникать в зданиях повышенной этажности, требуют внимания к вопросам устойчивости работы систем вентиляции в условиях, отличающихся от расчетных. Такие условия могут возникнуть в случае пожара в здании, при действии ветра, открывании дверей в смежные помещения, открывании форточек или окон в отдельных помещениях и пр. Во всех этих случаях система должна быть устойчивой, т. е. исключать возможность опрокидывания тяги в отдельных вентиляционных отверстиях. Наибольшее значение вопросы устойчивости имеют для систем естественной вытяжной вентиляции. Однако в ряде случаев они являются существенными и для работы систем с механическим побуждением. Это становится очевидным из сопоставления следующих величин в канале нижнего этажа 16-этажного здания при изменении температуры наружного воздуха от +30 до —30° С располагаемое

давление может измениться примерно на 10—15 *мм вод. ст.*, в то же время в канале верхнего этажа эти изменения составят 2—3 *мм вод. ст.* Даже при оборудовании системы центробежным вентилятором, рассчитанным на потерю давления 30—40 *мм вод. ст.*, такие изменения в распределении давлений могут вызвать разрегулировку системы. При установке в зданиях повышенной этажности осевых вентиляторов или агрегатов децентрализованной вентиляции, имеющих, как правило, низконапорные характеристики, вопросы устойчивости работы систем вентиляции приобретают большое значение.

Вышеуказанные требования могут быть удовлетворены только при условии расчета производительности и устойчивости работы систем вентиляции с учетом общего воздухообмена в здании и соотношения сопротивлений отдельных конструктивных элементов системы.

2. РАСЧЕТ РАСПОЛАГАЕМОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

Практикуемый в настоящее время способ расчета располагаемого давления для систем вентиляции не учитывает общего воздухообмена в здании. При этом игнорируются такие важные факторы, как наличие или отсутствие других систем вентиляции, степень воздухопроницаемости наружных и внутренних ограждений здания, его планировка и пр. Такой расчет в ряде случаев приводит к большим ошибкам, в связи с чем действительная производительность систем вентиляции может резко (в 2—4 раза) отличаться от расчетной. Более совершенным будет, очевидно, способ подсчета располагаемых давлений для систем вентиляции $p_р$ в соответствии со следующей зависимостью:

$$p_р = p_о \pm \Delta p_п, \tag{98}$$

где $p_о$ — общее располагаемое давление, т. е. располагаемое давление, определенное без учета влияния воздухообмена в здании на работу вентиляции, что равносильно располагаемому давлению в системе вентиляции при непосредственном сообщении приточных или вытяжных отверстий с атмосферой;

$\Delta p_п$ — перепад давлений наружного воздуха и воздуха внутри помещения на уровне середины окна.

Знак плюс в правой части зависимости (98) ставится при расчете приточной вентиляции, а знак минус — при расчете вытяжной вентиляции.

Величина $p_о$ может быть определена по зависимостям, весьма близким к обычным зависимостям для расчета располагаемых давлений в системах вентиляции.

Для систем естественной вытяжной вентиляции

$$p_0 = (\gamma_н - \gamma_в)(h_{вых} - h_0), \qquad (9$$

где $h_{вых} - h_0$ — разность отметок выхода воздуха из систем и середины окна вентилируемого помещения в

Для систем естественной приточной вентиляции

$$p_0 = (\gamma_н - \gamma_в)(h_0 - h_{вх}), \qquad (10$$

где $h_0 - h_{вх}$ — разность отметок середины окна вентилируемо помещения и входа воздуха в систему вентиляци в *м*.

Для систем механической вытяжной вентиляции

$$p_0 = p_{вт} + (\gamma_н - \gamma_в)(h_{вых} - h_0). \qquad (10$$

Для систем механической приточной вентиляции

$$p_0 = p_{вт} + (\gamma_н - \gamma_в)(h_0 - h_{вх}), \qquad (10$$

где $p_{вт}$ — давление, развиваемое вентилятором, в *кГ/м²*.

Величина $\Delta p_п$ зависит от этажности здания, этажа, в которо расположена квартира, планировки здания, общей производ тельности систем вентиляции и пр. На основании серии расчет воздухообмена в зданиях повышенной этажности, выполненны для планировочных решений, представленных на рис. 17, получ ны величины $\Delta p_п$ для различных расчетных случаев, включа щих разные соотношения объемов притока и вытяжки в здани различную планировку здания и пр. (табл. 5—7) *.

Приведенные на рис. 18 кривые показывают характер измен ния величины $\Delta p_п$ в одном и том же здании при различных ра четных случаях. Как видно из рисунка, в зависимости от ви вентиляции, этажа и типа квартиры величина $\Delta p_п$ изменяется —2,6 до +3,5 *мм вод. ст.* В 16-этажных зданиях эти изменен еще больше (от —4,5 до +4,2 *мм вод. ст.*).

Величины $\Delta p_п$, приведенные в табл. 5—7 и на рис. 18, рассч таны при температуре наружного воздуха $t_н = -5°$ С и отсутстви ветра. Температура воздуха внутри помещений $t_в$ принята равн +18° С. Уплотнение окон и стыков считается выполненным в с ответствии с рекомендациями СНиП II-В.6-62 и СНиП II-А.7- для зданий повышенной этажности. Эти условия рассматрива ся в качестве расчетных для систем естественной вентиляции. В бор указанной расчетной температуры соответствует «Санита ным правилам газификации жилых зданий» и основывается

---

* В табл. 5—7 приведены величины $\Delta p_п$ для трехкомнатных квартир. Д однокомнатных квартир к величинам $\Delta p_п$, указанным в табл. 5—7, долж быть добавлены величины $\Delta p_{доб}$ с соответствующими знаками, приведенн в табл. 8—10. Для двухкомнатных квартир величины $\Delta p_{доб}$, указанн в табл. 8—10, уменьшаются вдвое.

При двустороннем входе в здание величины $\Delta p_п$ для I этажа, указ ные в табл. 5—7, следует уменьшать на 0,5 *мм вод. ст.*

Таблица 5

Величины $\Delta p_п$ в *мм вод. ст.* при естественной вытяжке без притока или при вытяжке, превышающей приток на однократный объем здания

Этаж здания	Непосредственный вход в квартиры из лестничной клетки или лифтового холла									Лестнично-лифтовой узел отделен дверью от коридора или холла								
	$\Delta p_п$ при типе планировочных решений (см. рис. 17) и этажности здания																	
	А								Б	А								Б
	9	10	11	12	13	14	15	16	16**	9	10	11	12	13	14*	15*	16*	16*
I	2,45	2,55	2,7	2,85	3,1	3,5	3,9	4,4	2,75	2,25	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	2,5
II	2,15	2,25	2,4	2,6	2,9	3,3	3,8	4,25	2,65	2,1	2,15	2,25	2,35	2,5	2,6	2,7	2,8	2,4
III	1,9	2	2,15	2,4	2,7	3,1	3,6	4,05	2,55	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,55	2,7	2,35
IV	1,65	1,75	1,95	2,2	2,5	2,9	3,4	3,85	2,4	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,4	2,6	2,3
V	1,4	1,55	1,7	2	2,3	2,7	3,2	3,6	2,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2	2,1	2,3	2,5	2,2
VI	1,15	1,3	1,5	1,8	2,1	2,5	3	3,4	2,15	1,3	1,4	1,5	1,7	1,85	2	2,15	2,35	2,1
VII	0,95	1,1	1,35	1,6	1,9	2,35	2,75	3,15	1,95	1,05	1,2	1,3	1,5	1,7	1,9	2,05	2,25	2
VIII	0,75	0,9	1,15	1,4	1,7	2,05	2,4	2,85	1,7	0,8	0,95	1,1	1,3	1,55	1,75	1,95	2,15	1,9
IX	0,5	0,7	0,9	1,15	1,4	1,7	2,05	2,5	1,6	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,6	1,8	2	1,8
X		0,5	0,7	0,95	1,2	1,5	1,8	2,15	1,45		0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,6	1,85	1,7
XI			0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,8	1,3			0,5	0,7	0,95	1,2	1,45	1,7	1,55
XII				0,5	0,7	0,9	1,1	1,45	1,15				0,5	0,75	1	1,25	1,55	1,45
XIII					0,5	0,7	0,9	1,2	1					0,5	0,8	1,1	1,4	1,3
XIV						0,6	0,75	1,05	0,9						0,6	0,85	1,15	1,15
XV							0,6	0,85	0,8							0,6	0,8	0,95
XVI								0,65	0,65								0,65	0,65

* Если объем вытяжки из каждого этажа здания менее 1000 *м³/ч*, величина $\Delta p_п$ должна быть уменьшена на 0,2 *мм вод. ст.* для 4—5-го этажей считая сверху, на 0,3 *мм вод. ст.* для 6—8-го этажей считая сверху и на 0,4 *мм вод. ст.* для 9—16-го этажей считая сверху.

** Величины, указанные в этой графе, соответствуют также случаю подачи наружного воздуха в лестничную клетку.

Таблица

Величины $\Delta p_{\text{п}}$ в *мм вод. ст.* при притоке, равном вытяжке

Этаж здания	$\Delta p_{\text{п}}$ при этажности здания							
	9	10	11	12	13	14	15	16
I	0,45	0,25	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8
II	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,7
III	0,2	0,5	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5	0,6
IV	0,1	0,1	0,15	0,2	0,25	0,35	0,4	0,5
V	0	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4
VI	—0,05	—0,05	0	0	0,05	0,1	0,15	0,2
VII	—0,15	—0,1	—0,05	—0,05	0	0,05	0,05	0,1
VIII	—0,3	—0,25	—0,2	—0,15	—0,1	0	0	0
IX	—0,4	—0,35	—0,3	—0,3	—0,25	—0,2	—0,15	—0,1
X		—0,5	—0,45	—0,4	—0,35	—0,3	—0,25	—0,2
XI			—0,7	—0,6	—0,5	—0,4	—0,35	—0,3
XII				—0,8	—0,75	—0,65	—0,55	—0,4
XIII					—0,9	—0,8	—0,7	—0,6
XIV						—1	—0,9	—0,7
XV							—1,1	—0,9
XVI								—1,2

Таблица

Величины $\Delta p_{\text{п}}$ в *мм вод. ст.* при притоке, превышающем вытяжку на однократный объем здания

Этаж здания	$\Delta p_{\text{п}}$ при этажности здания							
	9	10	11	12	13	14	15	16
I	—0,1	—0,3	—0,5	—0,7	—0,9	—1	—1,1	—1,2
II	—0,45	—0,6	—0,8	—1,05	—1,1	—1,15	—1,2	—1,3
III	—0,75	—0,95	—1,15	—1,3	—1,3	—1,35	—1,4	—1,4
IV	—0,95	—1,2	—1,4	—1,5	—1,55	—1,55	—1,6	—1,6
V	—1,1	—1,3	—1,5	—1,65	—1,7	—1,75	—1,8	—1,8
VI	—1,2	—1,4	—1,6	—1,8	—1,9	—1,95	—2,06	—2,1
VII	—1,3	—1,5	—1,7	—1,9	—2,15	—2,25	—2,35	—2,4
VIII	—1,4	—1,6	—1,8	—1,95	—2,1	—2,3	—2,5	—2,7
IX	—1,5	—1,65	—1,85	—2	—2,2	—2,5	—2,8	—3,1
X		—1,7	—1,85	—2,1	—2,4	—2,7	—3,05	—3,4
XI			—1,9	—2,15	—2,55	—2,95	—3,35	—3,7
XII				—2,2	—2,7	—3,1	—3,5	—4
XIII					—2,8	—3,25	—3,6	—4,2
XIV						—3,4	—3,8	—4,4
XV							—4	—4,5
XVI								—4,7

следующих соображениях: температура наружного воздуха $t_{\text{н}}$ = —5° С является, в соответствии с данными гигиенистов, ни ним пределом, при котором форточки в помещениях могут бы открыты круглосуточно, при температуре ниже —5° С это стан

вится недопустимым как в связи с опасностью простудных заболеваний, так и в связи со значительным расходом тепла на нагревание воздуха, поступающего через форточки. Известно, что производительность систем естественной вентиляции в значительной степени зависит от воздухопроницаемости наружных ограждений, резко увеличиваясь в случае открытых форточек

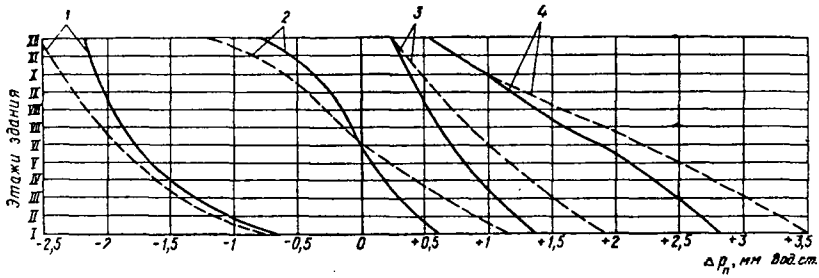


Рис. 18. Величины $\Delta p_п$ для одно- и трехкомнатных квартир 12-этажного здания планировки типа А (см. рис. 17, *а*) при различных решениях вентиляции (——— трехкомнатные квартиры; — — — — однокомнатные квартиры)

1 — приток превышает вытяжку на однократный объем здания; *2* — приток равен вытяжке; *3* — естественная вытяжка и организованный приток в лестничную клетку, исключающий перетекание воздуха между этажами; *4* — естественная вытяжка без организованного притока

Таблица 8

Величины $\Delta p_{доб}$ при естественной вытяжке без притока

Этаж считая сверху	Непосредственный вход в квартиры из лестничной клетки или лифтового холла	Лестнично-лифтовой узел отделен дверью от коридора или холла	
	$\Delta p_{доб}$ при количестве квартир на этаже		
	5	18	5
1	0	0	0
2	0,05	0,05	0,05
3	0,1	0,1	0,1
4	0,15	0,1	0,1
5	0,2	0,1	0,15
6	0,2	0,1	0,25
7	0,3	0,1	0,3
8	0,4	0,15	0,35
9	0,5	0,15	0,4
10	0,6	0,15	0,45
11	0,6	0,2	0,5
12	0,7	0,2	0,5
13	0,8	0,2	0,5
14	0,9	0,2	0,55
15	1	0,2	0,6
16	1,1	0,2	0,6

Таблица 9

Величины $\Delta p_{доб}$ при притоке, равном вытяжке

Этаж считая от середины здания		$\Delta p_{доб}$
вверх	вниз	
1	—	0
2	—	—0,1
3	—	—0,2
4	—	—0,25
5	—	—0,3
6	—	—0,35
7	—	—0,4
8	—	—0,45
—	1	0,1
—	2	0,2
—	3	0,25
—	4	0,3
—	5	0,35
—	6	0,4
—	7	0,45
—	8	0,5

Таблица 10

Величины $\Delta p_{доб}$ при притоке, превышающем вытяжку на однократный объем здания

Этаж считая снизу	$\Delta p_{доб}$	Этаж считая снизу	$\Delta p_{доб}$
1	—0,1	9	—0,2
2	—0,1	10	—0,2
3	—0,1	11	—0,25
4	—0,1	12	—0,25
5	—0,15	13	—0,3
6	—0,15	14	—0,3
7	—0,15	15	—0,35
8	—0,15	16	—0,35

в помещении. Расчеты показывают, что в случае открываиия всех форточек в жилом 16-этажном здании, оборудованном естественной вытяжной вентиляцией, расход воздуха в вытяжных каналах I этажа возрастает на 50%, а XVI этажа — на 80%. В зданиях меньшей этажности расход в этом случае увеличивается еще больше, составляя для пятиэтажного здания 100—300% (последняя величина относится к случаю, когда в здании имеется большое количество параллельно работающих вентиляционных каналов). Следовательно, наиболее тяжелые (расчетные) условия для работы систем естественной вентиляции создаются при температуре наружного воздуха —5° С и закрытых форточках в помещениях.

Снижение производительности систем естественной вентиляции при повышении температуры наружного воздуха до +5° С и закрытых форточках составит 20—25%, что легко может быть компенсировано частым проветриванием помещений.

Зависимость для определения располагаемых давлений $p_р$ в системах естественной вытяжной вентиляции имеет вид:

$$p_р = 0{,}11\,(h_{вых} - h_о) - \Delta p_п. \qquad (103)$$

Следует отметить несоответствие нормативных данных по объему вытяжки из жилых квартир и по воздухопроницаемости наружных ограждений зданий повышенной этажности, предусмотренных СНиП II-Л.1-62 и СНиП II-В.6-62. При заданных СНиП II-В.6-62 нормативах воздухопроницаемости окон для районов с расчетной отопительной температурой от —16 до —30° С нормативная вытяжка, предусмотренная СНиП II-Л.1-62, в пределах верхних трех — пяти этажей не может быть обеспечена, причем расход воздуха в кухнях верхних этажей может снижаться до 30% нормативного. Еще более тяжелые условия для работы систем естественной вытяжной вентиляции создаются в районах с расчетной отопительной температурой ниже —30° С, где требуемая степень воздухопроницаемости окон увеличивается примерно в 1,5 раза.

При подсчете располагаемых давлений по зависимости (103) указанное несоответствие проявляется в том, что для верхних этажей здания они могут оказаться весьма малыми или даже отрицательными. При таких условиях вентиляция в объеме, предусмотренном нормативами, обеспечена быть не может (при отсутствии дополнительного эжекционного побуждения в системе). В этом случае следует принимать при расчете меньшую производительность вентиляции данного помещения.

Располагаемое давление в каналах естественной вытяжной вентиляции верхнего этажа, при котором создается минимально допустимая скорость выхода воздуха в атмосферу (0,5 *м/сек*), составляет около 0,07 *мм вод. ст.* В случае, если полученная по зависимости (103) величина $p_р$ меньше 0,07 *мм вод. ст.*, расчет каналов должен производиться исходя из располагаемого давления 0,07 *мм вод. ст.*, а расчетный объем вытяжки должен быть уменьшен на 30% при $0{,}05 < p_р < 0{,}07$, на 50% при $0{,}03 < p_р < 0{,}05$, на 70% при $p_р < 0{,}03$ *мм вод. ст.*

Пример 1. Рассчитать располагаемое давление и возможную производительность системы естественной вытяжной вентиляции однокомнатных квартир нижнего и верхнего этажей 12-этажного здания (планировка типа *А* на рис. 17, *а*) при отметке выхода воздуха в атмосферу $h_{вых} = 35{,}5$ *м* и отметках середины окон этажей $h_{о.нижн} = 1{,}2$ *м*, $h_{о.верхн} = 32{,}2$ *м*. Температура наружного воздуха $t_н = -5°$ С; температура внутреннего воздуха $t_в = +18°$ С.

Определяем по табл. 5 и 8 величину $\Delta p_п$ для квартиры нижнего этажа:

$$\Delta p_п = 2{,}85 + 0{,}7 = 3{,}55 \text{ } мм\ вод.\ ст.$$

Для квартиры верхнего этажа в соответствии с этими же таблицами $\Delta p_п = 0{,}5$ *мм вод. ст.*

Тогда по зависимости (103) находим:

$$p_{\text{р.нижн}} = 0{,}11\,(35{,}5 - 1{,}2) - 3{,}55 = 0{,}22 \text{ мм вод. ст};$$

$$p_{\text{р.верхн}} = 0{,}11\,(35{,}5 - 32{,}2) - 0{,}5 = -0{,}14 \text{ мм вод. ст}.$$

В связи с тем, что полученная величина $p_{\text{р.верхн}}$ меньше 0,07 *мм вод. ст.* при расчете принимаем располагаемое давление вытяжного канала верхнего этажа $p_{\text{р.верхн}} = 0{,}07$ *мм вод. ст.*

Объем воздуха $L_{\text{выт}}$, извлекаемого вытяжными каналами верхнего этажа принимаем в размере 30% нормативного, т. е. $L_{\text{выт}} = 110 \cdot 0{,}3 = 33$ *м³/ч*.

3. СИСТЕМЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Как указывалось выше, необходимость экономии полезной площади здания требует объединения вентиляционных каналов по вертикали в общие системы. В настоящее время в проектной практике применяют вентиляционные системы с перепусками каналов через два, три, четыре или пять этажей. В особо высоких зданиях (выше 16 этажей) системы вентиляции могут быть разделены на две-три вертикальные зоны. Каналы двух — пяти верхних этажей, как правило, делают обособленными. Некоторые из применяемых в настоящее время схем вентиляционных систем с перепусками каналов показаны на рис. 19.

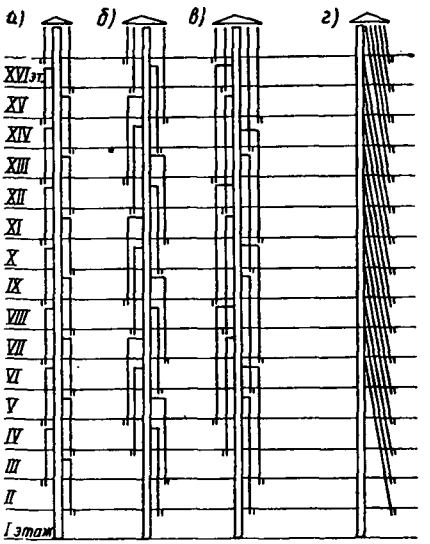


Рис. 19. Схемы вентиляционных систем для 16-этажных зданий

а — с перепусками каналов через два этажа; *б* — то же, через три этажа; *в* — то же, через четыре этажа; *г* — то же, через пять этажей (косые каналы)

В экспериментальном порядке применяется также одноканальная система с боковыми ответвлениями. Такая система, обслуживающая 16 этажей здания, позволяет уменьшить потребную для размещения каналов площадь в 3 раза по сравнению с системой с раздельными каналами и в 1,5 раза по сравнению с системой с перепусками каналов через два и пять этажей. Некоторая экономия создается при этом и вследствие сокращения расхода бетона: для одноканальной системы бетона требуется примерно в 7 раз меньше, чем для системы с раздельными каналами, объединенными в шахту, в 2,5 раза меньше, чем для системы с перепусками каналов через пять этажей, и в 1,6 раза меньше, чем для систем с перепусками каналов через два этажа. Кроме того, изготовление вентиляционных бло

ков для одноканальной системы значительно проще, чем для других систем.

Многочисленные исследования вентиляционных систем как по натурным, так и по расчетным данным привели к следующему существенному выводу: все вентиляционные системы с перепусками каналов, а также простейшая одноканальная система с боковыми ответвлениями могут работать с надлежащей эффективностью при условии точного расчета системы с учетом необходимых соотношений сопротивлений ее ответвлений и магистрального канала.

Общим принципом конструирования таких систем должно быть *максимально возможное уменьшение сопротивлений (увеличение площади сечений) магистрального канала и сборных шахт при максимально возможном увеличении сопротивлений (уменьшении площади сечений) ответвлений.* Соблюдение этого принципа обеспечивает равномерную и устойчивую работу системы вентиляции по этажам здания. Несоблюдение его приводит к неравномерной и крайне неустойчивой работе системы с большим завышением расходов воздуха в каналах нижних этажей и с опрокидыванием тяги в отдельных каналах верхних этажей.

Исследованиями установлены следующие допустимые соотношения площадей сечений отдельных элементов систем естественной вытяжной вентиляции без организованного притока воздуха:

в системе с раздельными каналами суммарная площадь сечений вертикальных каналов должна быть не более площади сечения сборного короба или шахты, объединяющих эти каналы;

в системе с перепусками каналов через пять этажей, объединяющей все этажи здания, кроме пяти верхних (см. рис. 19, *г*), суммарная площадь сечений всех каналов-ответвлений может превышать площадь сечений магистрального канала не более чем в 1,7 раза;

в системе с перепусками каналов через два этажа, объединяющей все этажи здания, кроме двух верхних (см. рис. 19, *а*), это соотношение должно быть не более 1,4;

в системе с перепусками каналов через один этаж, объединяющей все этажи, кроме верхнего, это соотношение должно быть не более 1,2;

в одноканальной системе вентиляции с боковыми ответвлениями сопротивление последних должно определяться специальным расчетом [24].

Помимо указанных рекомендаций при расчете систем вентиляции должны, безусловно, учитываться требования в отношении нижнего и верхнего предела скорости движения воздуха в системе. В качестве нижнего предела скорости движения воздуха при его выпуске в атмосферу можно принять величину 0,5 *м/сек.* Верхний предел скорости движения воздуха в ответвлениях определяется акустическими соображениями. Он зависит прежде всего от назначения вентилируемого помещения. В жилых зданиях

при ожидаемой скорости движения воздуха в воздухоприемных или воздуховыпускных отверстиях более 7 *м/сек* следует при проектировании исследовать вопрос о возможности применения данных устройств с точки зрения их акустических характеристик.

Для обеспечения равномерной и устойчивой работы систем вентиляции, а также для уменьшения избыточной инфильтрации наружного воздуха в нижних этажах зданий НИИ санитарной техники разработаны специальные унифицированные пластмассовые жалюзийные решетки с вкладышами переменного сечения (рис. 20).

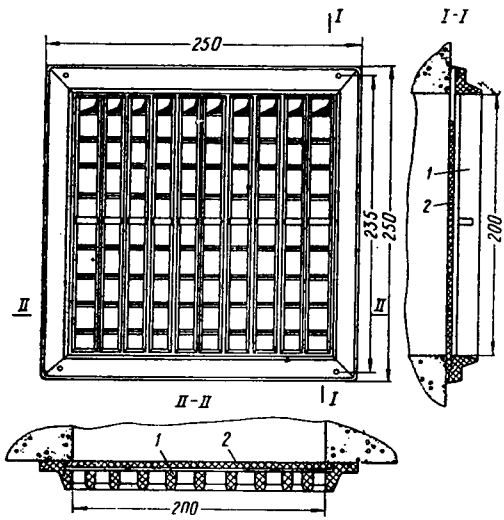


Рис. 20. Унифицированные пластмассовые жалюзийные решетки с вкладышами
1 — решетка; *2* — вкладыш

В настоящее время промышленность выпускает такие решетки размером 120×200 и 200×200 *мм*. Площадь сечения решетки, которая зашторивается вкладышем, может изменяться в отношении 1 : 10. Таким образом создается переменное, строго регламентированное расчетом сопротивление входных или выходных отверстий системы и осуществляется ее проектно-монтажная регулировка.

В НИИ санитарной техники специальными исследованиями установлены коэффициенты местных сопротивлений решеток при различном конструктивном выполнении входного отверстия системы и различном числе полос вкладышей. На основании этих данных рассчитаны характеристики решеток, приведенные в приложении 4. Необходимое число полос вкладышей в решетке подсчитывается при проектировании системы вентиляции зданий исходя из располагаемых давлений для вытяжных или приточных отверстий системы, определенных по зависимости (98), и из расчета системы вентиляции.

Следует заметить, что даже при установке в системе решеток с вкладышами, обеспечивающих заданную производительность и устойчивость системы, необходимо соблюдать рекомендации по соотношению сечений отдельных ее конструктивных элементов, изложенные ранее. Это смягчает последствия неправильной установки вкладышей, возможной при строительстве или эксплуатации здания, и, кроме того, позволяет запроектировать

систему с лучшими акустическими характеристиками (особенно в зданиях с числом этажей более 12).

Ниже приводится пример, поясняющий методику расчета системы, в которой устанавливаются жалюзийные решетки с вкладышами.

Пример 2. Определить необходимое число полос вкладышей к жалюзийным решеткам системы вентиляции трехкомнатных квартир 12-этажного здания с планировкой типа А, показанной на рис. 17, *а*.

Система вентиляции, выполненная из унифицированных вентиляционных блоков, состоит из магистрального канала и каналов-ответвлений с перепусками через два этажа (рис. 21).

Рис. 21. Схема системы вентиляции (цифры в кружках обозначают номера участков)

Таблица 11

Расчет числа полос вкладышей

Этаж	$\frac{h_{вых}}{h_{от}}$, м	Кухня						Санитарный узел[1]				
		$p_о$	$\Delta p_п$	$p_р$	$\Sigma\Delta p$	$\Delta p_{реш}$	$L_ф$, м³/ч	число полос вкладышей n	$\Sigma\Delta p$	$\Delta p_{реш}$	$L_ф$, м³/ч	$\Delta p_{реш}$ при $L_ф > L_р$	число полос вкладышей n
		мм вод. ст.			мм вод. ст.				мм вод. ст.				
I	34,6	3,8	2,85	0,95	0,546	0,404	90	5	0,271	0,679	25	—	9
II	31,9	3,5	2,6	0,9	0,574	0,326	90	3	0,28	0,62	25	—	8
III	29,2	3,2	2,4	0,8	0,572	0,228	90	0	0,282	0,518	25	—	8
IV	26,5	2,91	2,2	0,71	0,561	0,149	90	0	0,277	0,433	25	—	8
V	23,8	2,61	2	0,61	0,541	0,069	86	0	0,27	0,34	27	0,3	7
VI	21,1	2,3	1,8	0,5	0,511	—0,011	80	0	0,262	0,238	30	0,125	5
VII	18,4	2,02	1,6	0,42	0,464	—0,044	76	0	0,251	0,169	32	0,008	0
VIII	15,7	1,73	1,4	0,33	0,399	—0,069	72	0	0,235	0,095	34	—0,105	0
IX	13	1,43	1,15	0,28	0,33	—0,05	70	0	0,211	0,069	35	—0,134	0
X	10,3	1,13	0,95	0,18	0,257	—0,077	62	0	0,188	—0,008	39	—0,275	0

[1] Приведенные в таблице значения относятся к одной жалюзийной решетке.

Нормативные расходы воздуха: для кухонь 90 $м^3/ч$, для санитарных узлов 50 $м^3/ч$ (25 $м^3/ч$ для ванной и 25 $м^3/ч$ для уборной).

Расчет начинаем с определения располагаемых давлений $p_р$ по формуле (98). Результаты расчета сводим в табл. 11. Величины $p_о$ для каждого этажа определяем по формуле (99). Значения $\Delta p_п$ для трехкомнатных квартир каждого этажа принимаем по табл. 5.

Затем подсчитываем расход воздуха и потери давления по участкам (табл. 12). Потери давления определяем по общим правилам расчета вентиляционных систем путем суммирования потерь на трение и местные сопротивления по участкам. При этом местные сопротивления на входе воздуха в жалюзийную решетку не учитываем. При определении потерь давления в санитарном узле учитываем потери давления при прохождении воздуха через щели по периметру дверей санитарного узла (имея в виду, что эти двери обычно бывают закрыты). Расчет потерь давления при прохождении воздуха через закрытые двери санитарного узла может быть произведен по формуле

$$\Delta p_д = 0{,}19 \cdot 10^{-7} \frac{L^2}{F_щ^2}, \qquad (104)$$

где L — объем воздуха, удаляемого системой вытяжной вентиляции из данного помещения, в $м^3/ч$;

$F_щ$ — площадь щелей по периметру закрытой двери в $м^2$.

Таблица 12

Расход воздуха $L_р$ и потери давления Δp по участкам системы

№ участка	Кухня		Санитарный узел	
	$L_р$ $м^3/ч$	Δp, *мм вод. ст.*	$L_р$ $м^3/ч$	Δp, *мм вод. ст.*
1	90	0,123	50	0,141
2	90	0,151	50	0,15
2-3	180	0,0055	100	0,0017
3	90	0,155	50	0,152
3-4	270	0,0108	150	0,0033
4	90	0,155	50	0,152
4-5	360	0,0172	200	0,0053
5	90	0,151	50	0,151
5-6	450	0,025	250	0,0076
6	90	0,147	50	0,149
6-7	540	0,036	300	0,0112
7	90	0,1364	50	0,149
7-8	630	0,0452	350	0,014
8	90	0,117	50	0,147
8-9	720	0,053	400	0,0162
9	90	0,101	50	0,139
9-10	810	0,062	450	0,0192
10	90	0,088	50	0,135
10-вых	900	0,169	500	0,053

Примечание. Номера участков *1*, *2*, *3* и т. д. относятся к каналам-ответвлениям соответствующих этажей. Номера участков *2-3*, *3-4*, *4-5* и т. д. относятся к участкам магистрального канала, расположенным между соответствующими ответвлениями.

Принимая среднюю ширину щели равной 5 *мм*, периметр щелей по притвору двери равным 5,2 *м* и расход воздуха через одну дверь $L=25$ *м³/ч*, получим

$$\Delta p_д = 0{,}19 \cdot 10^{-7} \frac{25^2}{0{,}005^2 \cdot 5{,}2^2} = 0{,}0175 \text{ мм вод. ст.}$$

После записи в табл. 12 потерь давления по участкам просуммируем потери давления в последовательно соединенных участках, определяя при этом общие потери давления от места входа воздуха в канал (после жалюзийной решетки) до его выхода в атмосферу для кухонь и санитарных узлов каждого этажа.

Например, для кухонь I этажа общие потери давления будут складываться из потерь в вентиляционной системе кухонь на участках *1*, *2-3*, *3-4*, *4-5*, *5-6*, *6-7*, *7-8*, *8-9*, *9-10* и *10-вых*:

$$\Sigma\Delta p = 0{,}123 + 0{,}0055 + 0{,}0108 + 0{,}0172 + 0{,}025 +$$
$$+ 0{,}036 + 0{,}0452 + 0{,}053 + 0{,}062 + 0{,}169 = 0{,}546 \text{ мм вод. ст.}$$

Для санитарного узла III этажа общие потери давления определятся как сумма потерь на участках *3*, *3-4*, *4-5*, *5-6*, *6-7*, *7-8*, *8-9*, *9-10* и *10-вых*:

$$\Sigma\Delta p = 0{,}152 + 0{,}0033 + 0{,}0053 + 0{,}0076 + 0{,}0112 +$$
$$+ 0{,}014 + 0{,}0162 + 0{,}0192 + 0{,}053 = 0{,}282 \text{ мм вод. ст.}$$ и т. д.

Полученные значения $\Sigma\Delta p$ записываем в табл. 11.

Расчетные потери давления в жалюзийной решетке определяются как разность располагаемого давления $p_р$ и суммарной потери давления в вентиляционной системе:

$$\Delta p_{реш} = p_р - \Sigma\Delta p \qquad (105)$$

Подсчитываем эту разность для помещений всех этажей и записываем ее в табл. 11. Далее находим необходимое число полос вкладышей n по одному из графиков приложения 4.

Для этого прежде всего определяем, к какому типу входа воздуха в канал из представленных в приложении 4 подходит принятый нами конструктивный вариант. Принимаем установку в кухне решетки 200×200 *мм*, а в уборной и ванной решеток 120×200 *мм* по типу II приложения 4. Зная нормативную производительность вытяжного отверстия $L_р$ и величину $\Delta p_{реш}$, по графикам приложения 4 легко находим необходимое число полос вкладышей. Так, для кухни I этажа при $L_р=90$ *м³/ч* и $\Delta p_{реш}=0{,}404$ *мм вод. ст.* необходимо пять полос вкладышей. Если величина $\Delta p_{реш}$ отрицательна или меньше, чем величина $\Delta p_{реш}$, соответствующая на графиках нулевому числу полос вкладышей, это означает, что принятая нами производительность вытяжного канала не обеспечивается даже при установке решетки без вкладышей. Фактическую производительность вытяжного канала в этом случае определяем по следующему выражению:

$$L_ф = \sqrt{\frac{p_р L_р^2}{\Sigma\Delta p + \Delta p_{реш.\,расч}}}, \qquad (106)$$

где $L_р$ — расчетный расход воздуха через вытяжную решетку в *м³/ч*;

$\Delta p_{реш.расч}$ — потери давления в жалюзийной решетке без вкладыша при расчетном расходе воздуха.

Например, для вытяжиого канала кухни V этажа величина $\Delta p_{реш}=0{,}069$ *мм вод. ст.*, что заведомо меньше величины $\Delta p_{реш}$, определенной по соответствующему графику приложения 4 при $L_р=90$ *м³/ч* и $n=0$: $\Delta p_{реш.расч}=0{,}12$ *мм вод. ст.* В этом случае действительный расход воздуха через решетку составит:

$$L_ф = \sqrt{\frac{0{,}61 \cdot 90^2}{0{,}541 + 0{,}12}} = 86 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Дефицит вытяжки в кухне в размере 4 $м^3/ч$ компенсируем увеличение производительности вытяжной вентиляции в санитарном узле (по 2 $м^3/ч$ на каждую из решеток санитарного узла). Действительная производительность каждой вытяжной решетки составит при этом $L_д=25+2=27$ $м^3/ч$. Величину $\Delta p_{реш}$ для этого расхода определяем исходя из выражения

$$\Delta p_{реш.д} = p_р - \frac{\Sigma \Delta p L_д^2}{L_р^2}. \qquad (107)$$

Например, для санитарного узла V этажа

$$\Delta p_{реш.д} = 0{,}61 - \frac{0{,}27 \cdot 27^2}{25^2} = 0{,}3 \text{ мм вод. ст.}$$

Число вкладышей определяем по графику приложения 4 на основании $L_ф$ и $\Delta p_{реш.д}$: $n=7$.

Исходя из указанного выше основного принципа конструирования систем — максимально возможного уменьшения сопротивления магистральных каналов и сборных шахт следует избегать устройства сборных чердачных коробов в системах естественной вытяжной вентиляции, поскольку они могут представлять собой значительные сопротивления на пути магистральных воздушных потоков, вызывая возникновение неравномерной работы отдельных ветвей системы, и затруднять осуществление контроля за качеством выполнения вентиляционных каналов. Выпускать воздух в атмосферу рекомендуется через шахты, устанавливаемые непосредственно над вентиляционными каналами.

По предложению МНИИТЭП (инж. В. М. Иванов), в настоящее время сооружается ряд зданий с выпуском воздуха из вертикальных вытяжных каналов непосредственно в чердачное пространство с последующим удалением его через сборную шахту, выведенную выше кровли. Такое конструктивное решение избавляет систему от излишних сопротивлений чердачных коробов, упрощает ее выполнение из элементов, изготовленных индустриальным способом. Для осуществления такого решения требуется весьма малая воздухопроницаемость ограждений чердака (окон, дверей, перекрытий). Фильтрация воздуха с повышенной влажностью из чердачного пространства в атмосферу через элементы чердачного перекрытия и кровли способствует их коррозии, в связи с чем может потребоваться специальная противокоррозионная защита их. Кроме того, при таком способе вентиляции становится опасным местное повышение или понижение температуры воздуха внутри чердачного пространства, поскольку оно может вызвать конвективные токи и в связи с этим разрегулировку системы или даже опрокидывание тяги внутри отдельных ветвей системы. Опасным представляется также действие ветра, которое может вызвать перетекание воздуха с наветренной стороны на заветренную через систему. До натурной проверки работы таких систем их можно применять лишь при относительно небольшом объеме чердачного пространства, большой высоте сборной шахты или механическом

побуждении в системе при условии малой воздухопроницаемости ограждений чердака и надлежащей противокоррозионной защите элементов чердачного перекрытия.

Установка дефлекторов в системах естественной вытяжной вентиляции практически не улучшает работу систем при штиле, в наиболее тяжелых (расчетных) условиях. При действии ветра производительность систем вытяжной вентиляции при установке дефлектора возрастает примерно на 25% по сравнению с производительностью систем, не имеющих дефлектора, тогда как установка обычного зонта у выбросных отверстий вытяжных систем увеличивает их производительность при скорости ветра 5 *м/сек* примерно в 2 раза. Таким образом, установка дефлектора в большинстве случаев не является целесообразной. Исключение составляют случаи, когда в общую вентиляционную систему объединяются квартиры или помещения со сквозным проветриванием и без сквозного проветривания. При таком выполнении систем установка дефлектора может предотвратить ухудшение вентиляционного режима или даже возникновение обратной тяги в летний период во внутренних (без окон) помещениях квартир заветренной стороны.

Объединение в одну вентиляционную систему каналов квартир без сквозного проветривания, ориентированных на противоположные стороны света, не рекомендуется ввиду опасности перетекания воздуха по вентиляционной системе из квартир наветренной стороны в квартиры заветренной стороны.

Говоря о работе систем естественной вентиляции с перепусками каналов следует отметить большую зависимость ее от выполнения узла присоединения ответвлений к магистрали (тройника). Известно, что сопротивление тройников меняется в весьма больших пределах в зависимости от соотношения скоростей движения воздуха в ответвлениях и магистральном канале и от угла наклона ответвления к магистральному каналу.

Для равномерной и устойчивой работы вытяжных систем, а также для возможности унификации вентиляционных блоков сопротивления тройников как на проход, так и на ответвления должны нарастать сверху вниз, т. е. сопротивления тройников в вытяжных каналах верхних этажей должны быть значительно меньше сопротивлений тройников в вытяжных каналах нижних этажей.

При неизменном сечении магистрального канала и ответвления мы обычно имеем такое нарастание сопротивлений тройников сверху вниз, обусловленное нарастанием соотношения скоростей в ответвлении и магистральном канале $\frac{v_б}{v_м}$. При этом, как правило, в верхних этажах здания наблюдается эжектирующее (подсасывающее) действие воздушного потока в магистральном канале на воздушный поток в ответвлениях (отрицательный коэффициент местного сопротивления ответвления тройника $\zeta_{тр}$),

в то время как в нижних этажах боковое ответвление тройника характеризуется значительным сопротивлением ($\zeta_{тр}$ имеет положительное значение). В проходных участках также наблюдается нарастание сопротивлений тройников сверху вниз, хотя и значительно меньшее, чем в ответвлениях.

При снижении расхода в боковом ответвлении происходят усиление эжектирующего воздействия на него магистрали и некоторая саморегулировка системы. Установим условия, при которых это регулирующее воздействие работы тройника окажется наибольшим.

Проанализируем сначала влияние соотношения площадей сечений ответвления и магистрального канала. Рассматривая зависимости для величин ζ тройников разного типа [8], видим, что максимальные изменения коэффициента местного сопротивления с изменением соотношения расходов $\frac{L_б}{L_м}$ наблюдаются при минимальном отношении площади сечения бокового ответвления $F_б$ к площади сечения магистрального канала $F_м\left(\frac{F_б}{F_м}=\min\right)$. Эти изменения весьма велики. Так, для вытяжного тройника с площадью сечения магистрального канала $F_м$, равной сумме площадей сечений проходного участка $F_{пр}$ и ответвления $F_б$, при $\frac{F_б}{F_м}=0{,}5$ величина ζ при изменении отношения расходов $\frac{L_б}{L_м}$ от 0,03 до 0,5 изменяется от —2,8 до 0,2. Если же отношение $\frac{F_б}{F_м}$ уменьшается до 0,06, величина ζ при изменении отношения $\frac{L_б}{L_м}$ в тех же пределах изменяется от —0,7 до +64,3. Отсюда можно сделать вывод, что бóльшие равномерность, устойчивость и лучшая саморегулировка системы соответствуют минимальной величине отношений площадей сечений бокового ответвления и магистрального канала, что совпадает с изложенной выше рекомендацией о максимально возможном уменьшении площади сечения ответвлений и максимально возможном увеличении площади сечения магистральных каналов в системах с перепусками каналов.

Проанализируем далее влияние угла присоединения ответвлений к магистральному каналу α. Сопоставляя указанные зависимости [8] для тройников с углом присоединения ответвления $\alpha=15$ и 90°, видим, что при отношениях $\frac{F_б}{F_м}=0{,}1$ и $\frac{L_б}{L_м}=0{,}2$ величина ζ для ответвлений всех этажей системы во втором случае будет на 0,8 больше, чем в первом случае, а при $\frac{L_б}{L_м}=0{,}1$ величина ζ во втором случае будет на 0,6 больше, чем в первом случае. Следовательно, при уменьшении угла α значение коэффициента ζ снижается на одинаковую величину для всех ответв

лений. Безусловно, такое снижение значения ζ больше всего скажется на работе ответвлений верхних этажей, поскольку общая потеря давлений в этих каналах невелика и любое снижение сопротивлений (или усиление эжекции) для них очень существенно. На основании изложенного, а также натурных наблюдений можно рекомендовать присоединение боковых ответвлений к магистральному каналу под возможно меньшим углом, например, по типу, представленному на рис. 22.

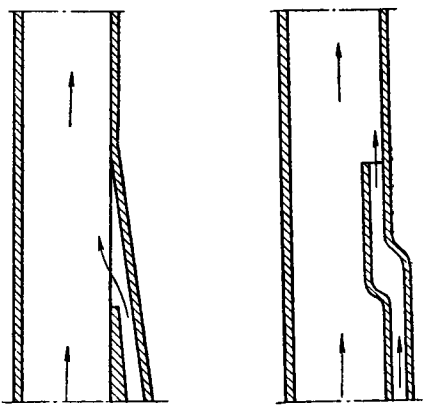


Рис. 22. Рекомендуемые типы присоединений ответвлений к магистральному участку в системах естественной вытяжной вентиляции

4. СИСТЕМЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

В настоящее время имеются отдельные предложения по замене в жилых зданиях повышенной этажности систем естественной вытяжной вентиляции системами централизованной механической вентиляции, рассчитанными на круглосуточное удаление из квартир воздуха (первый режим вентиляции). Целью такой замены является, во-первых, повышение производительности вытяжной вентиляции в верхних этажах зданий, имея в виду, что при действии системы естественной вытяжной вентиляции предусмотренная нормативами вытяжка в трех — пяти верхних этажах, как правило, не обеспечивается. Кроме того, система механической вытяжной вентиляции более устойчива и, что особенно важно, дает относительно меньшее увеличение расходов воздуха в холодную и ветреную погоду. Это приводит к определенной экономии расхода тепла в здании. Указанные преимущества этой системы реализуются в зданиях высотой 16 и более этажей при относительно высоких располагаемых давлениях (20—30 *мм вод. ст.*). Системы с малыми давлениями, создаваемыми вентилятором, в таких зданиях не могут быть устойчивыми, и работа их не будет значительно отличаться от работы систем естественной вентиляции.

Так как основные потери давления происходят в ответвлениях и у входов воздуха в систему, там могут возникнуть высокие скорости движения воздуха и высокий уровень шума. Повышение уровня шума выше допустимых величин может возникнуть и в связи с работой вентиляционного оборудования. Поэтому для таких систем обязателен акустический расчет.

Вторым обстоятельством, вызывающим опасения при оборудовании зданий централизованными механическими системами вентиляции, является возможность их бездействия или перебоев в их работе. Имея это в виду, следует предложить при проектировании систем централизованной вентиляции с механическим побуждением производить дополнительный расчет систем на случай выключения вентилятора. Цель такого расчета — обеспечить условия, исключающие по крайней мере возможность перетекания воздуха по вентиляционной системе из помещений нижних этажей в помещения верхних этажей здания.

Использование централизованных механических систем для вытяжной вентиляции кухонь газифицированных квартир в период приготовления пищи (второй режим вентиляции) не является целесообразным по следующим соображениям. Расход вытяжного воздуха, который может обеспечить заметное уменьшение концентрации токсических веществ в воздухе кухни при горении газовой плиты, составляет 170—350 *м*³/*ч*. Очевидно, что система механической вентиляции должна быть рассчитана именно на такой расход воздуха в каждом вытяжном отверстии. Такие большие расходы вытяжного воздуха вызовут повышенную инфильтрацию наружного воздуха в квартирах и потребуют значительных дополнительных затрат тепла на его подогрев. Поскольку это тепло будет расходоваться независимо от работы газовых плит, потребуется заметно увеличить поверхность нагревательных приборов и пойти на значительное увеличение расходов тепла в здании. За рубежом (например, в Чехословакии) имеется опыт применения централизованных механических систем вентиляции с возможностью включения вентилятора в любой из обслуживаемых им квартир на некоторый период времени. Продолжительность работы вентилятора изменяется в пределах 5—45 *мин*, увеличиваясь с повышением температуры наружного воздуха, благодаря чему несколько ограничивается инфильтрация воздуха в квартирах и связанное с этим охлаждение. Однако в зданиях повышенной этажности при большом числе квартир, обслуживаемых одним вентилятором, эта мера малоэффективна, поскольку частота включения вентилятора в дневное время настолько велика, что практически он будет работать непрерывно.

В здании могут быть предусмотрены децентрализованные системы, представляющие собой индивидуальные вентиляторы, установленные в вытяжном канале кухни [10]. Назначение этого типа вентиляции иное, чем централизованных систем механической вентиляции. Оно состоит в периодическом увеличении воздухообмена во время наибольшего выделения вредностей — в основном во время работы газовых плит (второй режим вентиляции). Вентилятор легко включается и выключается хозяйкой, занятой приготовлением пищи. При выключенном вентиляторе канал, в котором он установлен, работает как обычный канал

естественной вытяжной вентиляции. Выпускаемые в настоящее время для этой цели Алма-Атинским заводом вентиляторы ВО-45 при установке в вытяжном канале имеют производительность 160—200 $м^3/ч$, что создает 10—12-кратный воздухообмен в кухне и существенно улучшает состояние воздушной среды в период горения газовых плит [10]. Вентилятор работает от осветительной сети. Потребляемая мощность вентилятора 21 *вт*. Давление, развиваемое вентилятором, составляет около 2,5 *мм вод. ст*. При работе вентилятора в канале оно суммируется с располагаемым давлением естественной вытяжной вентиляции.

Использование вытяжных вентиляторов ВО-45 особо рекомендуется для верхних этажей здания, условия вентиляции в которых, как правило, ухудшены. Установка их желательна в раздельных вентиляционных каналах, имеющих выброс непосредственно в атмосферу, поскольку при их работе создается подпор в вентиляционных каналах. При объединении каналов в общую систему одновременное включение нескольких вентиляторов может создать условия для опрокидывания тяги в других вытяжных отверстиях, в связи с чем при таком выполнении систем допустимое количество одновременно работающих вентиляторов следует определять специальным расчетом.

Необходимо отметить, что децентрализованная вентиляция, вполне отвечая требованиям, предъявляемым ко второму вентиляционному режиму, не может рассматриваться как устройство для круглосуточного вентилирования помещений.

5. СИСТЕМЫ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Приточная вентиляция в жилом здании повышенной этажности может быть осуществлена различными способами. Наиболее дешевый способ, простой по конструктивному выполнению, не требующий больших эксплуатационных затрат и надежный в эксплуатации, — организация естественного притока в лестничную клетку или лифтовую шахту. Как упоминалось выше, такая подача воздуха может предотвратить систематическое перетекание загрязненного воздуха нижних этажей в верхние при планировочных решениях, которым свойственно такое перетекание. Состояние воздушной среды лестничной клетки, питающей в значительной степени квартиры верхних этажей, при этом существенно улучшается. Однако некоторое загрязнение воздушной среды, связанное с попаданием пыли в лестничную клетку, прохождением людей и размещением в лестничных клетках мусоропроводов, остается.

В связи с этим следующим этапом улучшения состояния воздушной среды квартир можно считать подачу приточного воздуха в лифтовые холлы или коридоры каждого этажа через специальную вертикальную шахту или систему приточных каналов. Следует, однако, иметь в виду, что при подаче воздуха в коридоры

или лифтовые холлы исключить внутреннее перетекание воздуха между этажами в зданиях некоторых планировок значительно сложнее.

В табл. 13 приведены расходы приточного воздуха, исключающие внутреннее перетекание воздуха между этажами при подаче его в лестничные клетки, а также при подаче его в коридоры или лифтовые холлы (в равном объеме на все этажи здания). Там же приведены необходимые для расчета приточных систем величины располагаемых давлений в лестничных клетках и коридорах.

При наличии в лестничной клетке мусоропровода расход приточного воздуха должен быть увеличен на 20% по сравнению с величинами, указанными в табл. 13. Это связано с извлечением части воздуха из лестничной клетки через неплотности клапанов мусоропровода.

Таблица 13

Расходы приточного воздуха, исключающие перетекание воздуха из квартир нижних этажей в квартиры верхних этажей

Вариант планировочного решения на рис. 17	Этажность здания	Уровень выпуска воздуха	Расходы приточного воздуха по всему зданию в *кг/ч* при $t_н$ в °С		Располагаемое давление в *мм вод. ст.* при $t_н$ в °С	
			—26	—5	—26	—5
Подача воздуха в лестничную клетку или лифтовую шахту						
а	9	I этаж	4 000	—	4,7	—
а	12	То же	5 700	—	5	—
б	16	»	5 800	3700	5,3	3,4
в	12	»	1 750	1250	5,5	3,6
г	16	»	4 400	3400	5,8	3,6
д	16	»	3 200	2500	5,8	4
з	25	»	13 200	7600	8,5	5,6
Подача воздуха в коридоры или лифтовые холлы						
б	16	На каждом этаже	6 400	—	2,8 (I эт.) 5,1 (IV эт.) 5,7 (IX эт.) 7,1 (XIII эт.) 8,3 (XVI эт.)	— — — — —
д	16	То же	16 000	16 000	4,5 (I эт.) 5,7 (IV эт.) 7,6 (IX эт.) 8,2 (XIII эт.) 9,6 (XVI эт.)	2,4 2,8 3,9 5,4 6,3
е	16	»	1 120	—	2,8 (I эт.) 5,1 (IV эт.) 5,9 (IX эт.) 7,4 (XIII эт.) 8,3 (XVI эт.)	— — — — —

Сопоставляя данные табл. 13, видим, что подача приточного воздуха в коридоры целесообразна в домах типа «башня» (планировочные решения *б* и *е* на рис. 17). В доме типа «пластинка» (планировочное решение *д*) исключить внутреннее перетекание при подаче приточного воздуха в коридоры можно только резким увеличением притока. По-видимому, такое увеличение притока весьма затруднит выполнение системы и потому вряд ли может быть признано целесообразным.

При организованной подаче воздуха в лестничные клетки, лифтовые шахты, коридоры или холлы несколько увеличивается поступление воздуха через двери квартир. Как показывают исследования, при этом усиливается работа вытяжной вентиляции. Кроме того, наблюдается снижение объемов воздуха, инфильтрующегося через окна квартир, заметное при планировочных решениях *б* и *е* (см. рис. 17) и малоощутимое при других планировочных решениях.

Наконец, возможна подача наружного воздуха непосредственно в квартиры с помощью гравитационной системы или системы с механическим побуждением. Конструктивное выполнение систем в этом случае значительно осложняется. Недостаточная устойчивость работы гравитационной системы может существенно влиять на микроклимат помещений. Механическая приточная система дорога и ненадежна в эксплуатации. Перетекание воздуха из квартир нижних этажей в квартиры верхних этажей при подаче воздуха в каждую квартиру становится весьма интенсивным и исключить его путем организованного притока в лестнично-лифтовой узел практически невозможно. Количество перетекающего по лестничным клеткам и лифтовым шахтам воздуха в этом случае существенно увеличивается (табл. 14).

Таблица 14

Количество воздуха, перетекающего из квартир в лестничные клетки

Вариант планировочного решения на рис. 17	Этажность здания	Характеристика вентиляции	Количество перетекающего воздуха	
			в *кг-ч*	в % к общему количеству воздуха, поступающего в лестничную клетку
а	9	Вытяжная естественная	600	28
		Приток равен вытяжке	1300	87
а	12	Вытяжная естественная	1000	45
		Приток равен вытяжке	2000	85
в	12	Вытяжная естественная	300	25
д	16	То же	940	44
м	16	»	1240	50
б	16	Вытяжная естественная	920	45
		Приток равен вытяжке	1660	71
е	16	Вытяжная естественная	2300	33

При общем относительном увеличении объема организованной вытяжки по сравнению с объемом организованного притока перетекание уменьшается. Оно может быть также значительно уменьшено дифференцированным сочетанием объемов притока и вытяжки по этажам: превышением вытяжки под притоком в нижних этажах и превышением притока над вытяжкой в верхних этажах.

Гравитационную приточную установку целесообразно располагать в нижней части здания, осуществляя забор воздуха на уровне 1-го этажа. При этом калорифер может размещаться в отверстии наружной стены лестничной клетки или лифтовой шахты.

Так как располагаемые давления для приточных отверстий верхних этажей больше, чем для приточных отверстий нижних этажей, при подаче воздуха в коридоры или непосредственно в квартиры через общую вертикальную шахту или систему с перепусками каналов возникает опасность перетекания воздуха из нижних этажей в верхние по шахте или каналам. Для предотвращения такого перетекания при конструировании систем приточной вентиляции необходимо строгое соблюдение основных принципов, рекомендованных для конструирования систем естественной вентиляции.

Большое количество гравитационных установок с подачей воздуха непосредственно в лестничные клетки или лифтовые шахты разработано в МНИИТЭП. В этих установках для подогрева воздуха используется, как правило, перегретая вода с расчетной температурой 130—150° С, поступающая после калориферов непосредственно в систему отопления.

ГЛАВА V

ИНФИЛЬТРАЦИЯ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

1. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИНФИЛЬТРАЦИЮ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

Количество наружного воздуха, инфильтрующегося в здание через неплотности наружных ограждений, зависит от целого ряда факторов. Основными из них являются способ вентиляции, гравитационное давление, действие ветра, воздухопроницаемость наружных и внутренних ограждений, внутренняя планировка здания. Проанализируем особенности влияния каждого из этих факторов в отдельности.

а) Способ вентиляции здания

Рассмотрим три различных способа вентиляции здания: 1) вытяжка без организованного притока (или вытяжка, превышающая приток на однократный объем здания); 2) вытяжка, полностью компенсируемая организованным притоком; 3) орга-

низованный приток, превышающий вытяжку на однократный объем здания. Первый из этих трех способов вентиляции характерен для жилых зданий повышенной этажности, поскольку они, как правило, оборудуются системами естественной вытяжкой вентиляции, не компенсируемой притоком. Инфильтрация наружного воздуха при таких системах вентиляции наиболее значительна. Расход тепла на подогрев инфильтрующегося воздуха при расчетной отопительной температуре достигает 100% и более основных теплопотерь (см. табл. 4), поэтому проблема точного определения надбавок к основным теплопотерям на инфильтрацию наружного воздуха и изыскания рациональных путей их снижения здесь приобретает большое значение. Объем инфильтрующегося наружного воздуха в этом случае в большой степени зависит от производительности систем вытяжной вентиляции.

При надлежащем уплотнении внутренних ограждений, изолирующих основные помещения от лестничных клеток и других вертикальных шахт, создаются условия для неравномерной работы вентиляции по этажам со значительным увеличением ее производительности в нижних этажах и снижением в верхних этажах. В соответствии с этим может наблюдаться значительное увеличение инфильтрации в нижних этажах и сокращение ее (или даже эксфильтрация) в верхних этажах. Такая неравномерность работы вентиляции по этажам может привести к существенному ухудшению микроклимата нижних этажей и большим затратам тепла на подогрев инфильтрующегося в них воздуха.

Производительность систем естественной вытяжной вентиляции в значительной степени зависит от действия ветра и изменения температуры наружного воздуха. В соответствии с этим (а также учитывая воздействие ветра и температуры на здание, не связанное с работой вентиляции) величина инфильтрации наружного воздуха также в значительной степени зависит от скорости ветра и температуры наружного воздуха. Так, при действии ветра со скоростью 5 *м/сек* инфильтрация в квартире, расположенной на наветренной стороне здания, увеличивается на 30—70% по сравнению с инфильтрацией в безветреную погоду; при понижении температуры наружного воздуха от 5 до —30° С инфильтрация воздуха в нижних этажах 9—16-этажных зданий возрастает на 40—100%.

При работе вытяжной вентиляции в квартирах или других помещениях различных типов создаются условия, при которых воздух из квартир, имеющих бóльшую площадь окон и балконных дверей (или более воздухопроницаемые наружные ограждения), перетекает в квартиры того же этажа, имеющие меньшую площадь остекления (или менее воздухопроницаемые наружные ограждения). Например, во многих случаях наблюдалось перетекание воздуха из трех- и двухкомнатных квартир в однокомнатные квартиры, расположенные на том же этаже. Это означает, что в указанных случаях инфильтрация воздуха в

больших квартирах или помещениях превышала объем вытяжки из них, а в малых, наоборот, была менее объема вытяжки. Исследования показали, что при относительно малой воздухопроницаемости окон ($i<11$ *м³/м²·ч·мм вод. ст.*) и относительно большой воздухопроницаемости квартирных дверей (щели около 2 *мм*) величины инфильтрации воздуха, отнесенные к 1 *м²* окна в квартирах разных типов при работе вытяжной вентиляции близки между собой. Имеющиеся расхождения (в пределах 5% величины инфильтрации в помещениях) в расчете могут не учитываться.

Если в лестничную клетку или лифтовую шахту подается воздух в количестве, исключающем перетекание воздуха между этажами, количество воздуха, инфильтрующегося через наружные ограждения нижнего этажа здания, равно количеству воздуха, удаляемого системой вытяжной вентиляции. В связи с этим количество инфильтрующегося воздуха в нижнем этаже здания не зависит от этажности здания и, следовательно, гравитационного давления, а зависит только от количества воздуха, удаляемого вытяжной вентиляцией. При таком решении воздухообмена особенно целесообразно дросселирование вытяжных каналов нижних этажей, предотвращающее избыточную инфильтрацию воздуха сверх того количества, которое компенсирует нормативную вытяжку.

В случае, если здание оборудовано системами приточно-вытяжной вентиляции с равным объемом притока и вытяжки воздуха, инфильтрация наружного воздуха резко снижается. Исследования показывают, что требуемая величина надбавок на инфильтрацию к основным теплопотерям для 16-этажных зданий в нижнем этаже здания снижается в 2—2,5 раза по сравнению с предыдущим случаем, а в целом по зданию в 4—5 раз. Следует однако, отметить, что такое снижение надбавок в большинстве случаев не является показателем экономии расхода тепла на здание, поскольку затраты тепла на подогрев приточного воздуха, как правило, превосходят экономию тепла, получаемую вследствие уменьшения инфильтрации в здании. При таком способе вентиляции значительно увеличивается устойчивость воздухообмена и количества инфильтрующегося воздуха в здании к изменению температур наружного воздуха, воздействию ветра и колебаниям производительности систем вентиляции.

Наконец, при третьем случае вентиляции — притоке, превышающем вытяжку, инфильтрация наружного воздуха в 9—16 этажных зданиях в климатических условиях, характерных для средней климатической полосы СССР, при уплотнении наружных ограждений, соответствующем СНиП, практически отсутствует. Проблема надбавок на инфильтрацию наружного воздуха в этих условиях отпадает (кроме надбавок на входные двери в здание). Устойчивость воздухообмена таких зданий к наружным воздействиям (изменениям температуры и скорости ветра) наибольшая.

б) Гравитационное давление в здании

Под влиянием гравитационного давления при вытяжке, равной или превышающей приток, в здании происходит вертикальное перемещение потоков воздуха, сопровождающееся интенсивной инфильтрацией наружного воздуха в помещениях нижних этажей здания, постепенно уменьшающейся по высоте здания. В помещениях верхних этажей может происходить эксфильтрация воздуха через наружные ограждения.

в) Воздействие ветра на здание

Под воздействием ветра в здании происходит в основном горизонтальное перемещение потоков воздуха с наветренной стороны на заветренную. Вертикальное перемещение потоков может возникнуть вследствие воздействия давления ветра на системы вентиляции, выражающегося в подпоре или разрежении у мест забора или выхода воздуха. Расчет инфильтрации при действии ветра должен учитывать влияние таких факторов, как изменение скорости ветра по высоте, сочетание наружных температур и скоростей ветра, распределение аэродинамических коэффициентов по поверхности здания, влияние окружающей застройки и пр. (см. главу II).

В зданиях, оборудованных притоком и вытяжкой в равных объемах, инфильтрация наружного воздуха при воздействии ветра происходит, как правило, на наветренной стороне, а на заветренной стороне возникает эксфильтрация воздуха. Поскольку поверхность наветренной стороны здания (характеризующаяся положительным значением аэродинамических коэффициентов) составляет, как правило, не более $^1/_3$ общей поверхности здания, инфильтрация происходит в меньшей части помещений, а эксфильтрация — в большей части помещений.

При работе вытяжной вентиляции без организованного притока воздуха это положение меняется: число помещений, в которые инфильтруется наружный воздух, увеличивается. Производительность систем естественной вытяжной вентиляции при воздействии ветра́, как правило, возрастает. Это обусловлено тем, что в области крыши, где обычно размещаются выбросные устройства, под воздействием ветра создаются значительные разрежения. Усиление действия вентиляции способствует усилению инфильтрации наружного воздуха, в связи с чем в этом случае она может возникать не только на наветренной, но и на заветренной стороне здания.

При совместном воздействии ветра и гравитационного давления увеличение инфильтрации на соответствующих этажах в зданиях большой этажности оказывается меньшим, чем в зданиях малой этажности. Так, при работе естественной вытяжной вентиляции и $t_н = -26°$ С увеличение инфильтрации под влиянием вет-

ра скоростью $v_в = 9$ *м/сек* на VIII этаже 16-этажного здани в 8 раз меньше, чем на VIII этаже 8-этажного здания.

Таким образом, в целом здания повышенной этажности боле устойчивы к ветровым воздействиям, чем здания малой этажно сти. Наряду с этим в связи со значительным нарастанием ск рости ветра по высоте в верхних этажах этих зданий создается как правило, весьма неустойчивый воздушно-тепловой режим объем инфильтрующегося воздуха при воздействии ветра возра стает на значительную величину.

Для определения максимально возможной величины инфиль трации в течение отопительного сезона в различных помещения здания весьма важно установить зависимость инфильтрации о совместного воздействия ветра и гравитационного давления пр наиболее характерных сочетаниях температуры наружного воз духа **и** скорости ветра. Как уже указывалось, для средне климатической полосы СССР характерно сочетание низких тем ператур наружного воздуха с малыми скоростями ветра и увел ченных скоростей ветра с несколько повышенными температура ми наружного воздуха. В связи с этим распределение объемо инфильтрующегося воздуха по этажам изменяется в течение от пительного периода. В нижних этажах здания наибольший об ем инфильтрующегося воздуха соответствует, как правил периоду низких температур, равных расчетной отопительной тем пературе (порядка минус 20 — минус 30° С для средней климат ческой полосы СССР). Для средних этажей наибольшая вел чина инфильтрации может соответствовать более высоким тем пературам наружного воздуха (порядка минус 20—минус 15° С а для самых верхних этажей, как правило, наибольшая инфил трация соответствует наиболее высоким наружным температ рам отопительного периода, когда расчетные скорости ветр достигают своих максимальных величин. В связи с этим дл определения максимально возможных объемов инфильтрующ гося воздуха может потребоваться расчет воздухообмена пр трех — пяти температурах. Следует, однако, указать, что эт схема весьма приближенна. Во многих случаях такой детальны расчет для определения максимально возможных величин и фильтрации может и не потребоваться. Большое значение п этом имеют высота здания и степень воздухопроницаемости е наружных ограждений. Чем выше здание и чем больше воздух проницаемость его наружных ограждений, тем больше разли ных сочетаний температуры наружного воздуха и скорости вет нужно принимать в расчет.

Это положение поясняют приведенные на рис. 23 и 24 граф ки распределения по этажам расходов инфильтрующегося возд ха в трехкомнатных квартирах зданий повышенной этажност Как видно из рис. 23, для 9-этажного здания при $i = 4{,}6$ $6{,}5$ *м³/м² · ч · мм вод. ст.* для определения максимально возмо ных величин инфильтрации по этажам достаточно ограничить

расчетной отопительной температурой наружного воздуха (—26° С). При увеличении воздухопроницаемости до $i=11$ *м³/м² · ч · мм вод. ст.* расчет следует вести уже при трех различных температурах наружного воздуха: $t_н=-5$, —15 и —26°С.

В то время для здания высотой 25 этажей (рис. 24) уже при $i=6$ *м³/м² · ч · мм вод. ст.* требуется рассчитать четыре

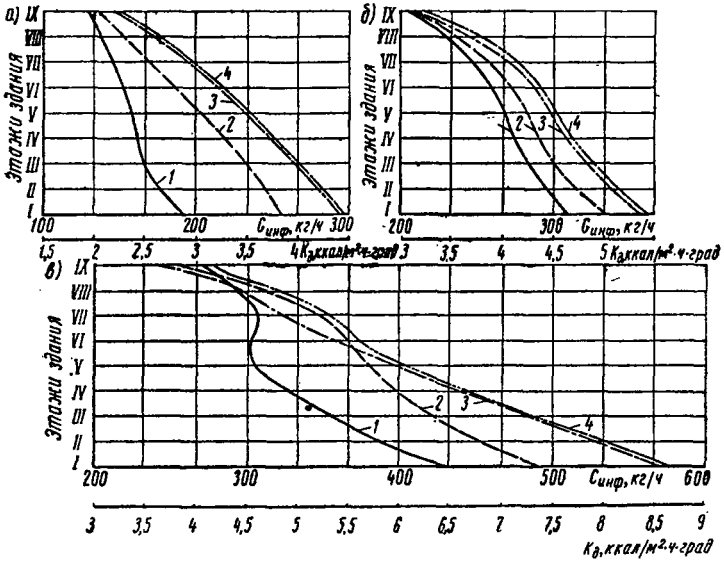


Рис. 23. Распределение величины инфильтрации по этажам 9-этажного здания (вариант планировочного решения *а* на рис. 17) при различных температурах наружного воздуха $t_н$ и разных коэффициентах воздухопроницаемости окон i (естественная вытяжная вентиляция)

а — при $i=4{,}6$ *м³/м² · ч · мм вод. ст.*; *б* — при $i=6{,}5$ *м³/м² · ч · мм вод. ст.*; *в* — при $i=11$ *м³/м² · ч · мм вод. ст.*; *1*— при $t_н=-5°$ С; *2*— при $t_н=-15°$ С; *3*—при $t_н=-26°$ С; *4* — максимально возможные величины инфильтрации

различных сочетания наружной температуры и скорости ветра. Очевидно, что при большей воздухопроницаемости наружных ограждений это число сочетаний ветра и температуры наружного воздуха потребовалось бы еще увеличить.

Для условий средней климатической полосы СССР при $i=4{,}6\div6{,}5$ *м³/м² · ч · мм вод. ст.* в местностях, где сочетание скорости ветра и температуры наружного воздуха примерно соответствует кривым, изображенным на рис. 14, можно рекомендовать при расчете максимально возможных расходов инфильтрующегося воздуха пользоваться следующими величинами температур:

для 9—11-этажных зданий — расчетная отопительная температура наружного воздуха;

для 12—16-этажных зданий — расчетная отопительная темпе ратура наружного воздуха и $t_н = -5°$ С;

для 17—20-этажных зданий — расчетная отопительная темпе ратура наружного воздуха, $t_н = -5°$ С и средняя между этим температурами;

для зданий высотой более 20 этажей — расчетная отопитель ная температура наружного воздуха, $t_н = -5°$ С и две промежу точные между этими температурами.

Для зданий, расположенных в других климатических услови ях (например, в условиях повышенных ветровых воздействи

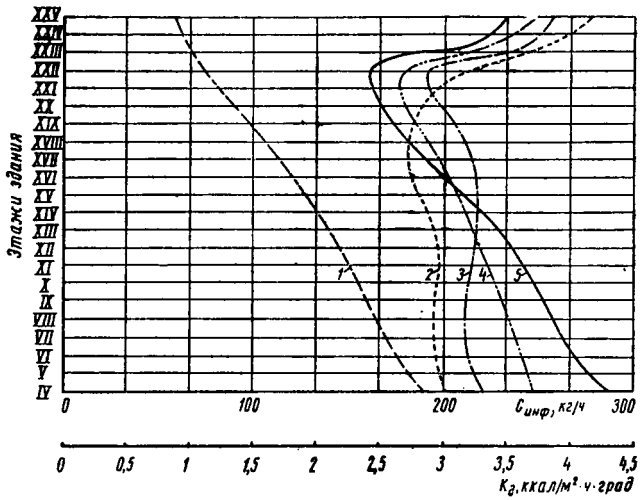


Рис. 24. Распределение величины инфильтрации по этажам 25-этажного здания при различных температурах наружного воздуха $t_н$ (естественная вытяжная вентиляция)

1 — при $t_н = -5°$ С (без ветра); *2* — при $t_н = +5°$ С (с ветром); *3*—при $t_н = -5°$ С (с ветром); *4*—при $t_н = -15°$ С (с ветром); *5* — при $t_н = -26°$ С (с ветром)

или меньших температур наружного воздуха) и с другими коэффициентами воздухопроницаемости наружных ограждений, выбор наружных температур для расчета максимально возможного расхода инфильтрующегося воздуха может существенно отличаться от приведенного выше.

Все только что сказанное относится лишь к расчету максимально возможных расходов инфильтрующегося воздуха. В случае, если нас интересует вся картина изменения этих величин за отопительный период, расчет следует производить для возможно большего числа различных температур наружного воздуха.

г) Воздухопроницаемость наружных ограждений

С увеличением воздухопроницаемости наружных ограждений здания объем инфильтрующегося воздуха в целом по зданию,

безусловно, возрастает. Однако важно отметить, что это возрастание инфильтрации ни в коем случае не носит характер линейной зависимости от воздухопроницаемости соответствующих ограждений, а является весьма сложной функцией этой величины, зависящей от сочетания различных факторов, определяющих воздухообмен. При этом может оказаться, что увеличение воздухопроницаемости наружных ограждений в целом по зданию приведет к снижению объема инфильтрующегося воздуха в отдельных помещениях или даже к возникновению в них эксфильтрации. В частности, это относится к верхним этажам зданий повышенной этажности, а также к квартирам и помещениям, расположенным на заветренной стороне здания. При большой воздухопроницаемости ограждений объем воздуха, инфильтрующегося в нижних этажах или в квартирах наветренной стороны здания, становится значительным; в связи с этим увеличивается объем воздуха, перетекающего из нижних в верхние этажи или из наветренных помещений в заветренные. Результатом такого усиленного перетекания воздуха и может явиться уменьшение инфильтрации или даже возникновение эксфильтрации в верхних этажах и в заветренных помещениях здания.

Такие явления часто наблюдаются в натурных условиях в начальный период эксплуатации зданий с естественной вытяжной вентиляцией, когда отсутствует надлежащее уплотнение окон и, следовательно, воздухопроницаемость наружных ограждений весьма велика. Уплотнение окон, производимое жильцами после заселения, во многих случаях приводит к изменению общей схемы воздухообмена здания: во всех этажах здания, включая верхние, наблюдается инфильтрация воздуха через наружные ограждения.

При оценке величины инфильтрации воздуха через наружные ограждения следует иметь в виду, что величина перепада давлений по обе стороны наружного ограждения, от которой зависит объем инфильтрующегося воздуха, сама в большой степени зависит от воздухопроницаемости данного ограждения. Так, разрежение на уровне закрытых входных дверей 25-этажного здания с естественной вытяжной вентиляцией при $t_н = -30°$ С составляет около 12 *мм вод. ст.*, а разрежение на уровне открытых входных дверей того же здания составит сотые доли миллиметра. Его величину не удается даже замерить в натуре с помощью микроманометра и можно определить только расчетным путем. Подобные изменения перепадов давлений наблюдаются и при открывании окон или форточек в помещениях, при различной степени уплотнения окон в зданиях и пр. Подсчет инфильтрации наружного воздуха по приближенным формулам, в которых величина перепада давлений считается не зависящей от воздухопроницаемости наружных ограждений, является грубой, но, к сожалению, весьма распространенной ошибкой.

Принимая перепады давлений не зависящими от воздухопро-

ницаемости наружных ограждений, мы получили бы, что увеличение коэффициента воздухопроницаемости закрытых окон в 2 раза приводит к увеличению расходов воздуха через наружные ограждения на 60%. Между тем результаты расчета общего воздухообмена в здании показывают, например, что изменение коэффициентов воздухопроницаемости окон в 16-этажном жилом здании типа «башня» с $i=6$ до $i=12$ $м^3/м^2 \cdot ч \times$ $\times мм\ вод.\ ст.$ (воздухопроницаемость массива наружных стен в связи с ее относительно малой величиной не учитывается) при $t_н=-26°$ С и $v_в=2 \div 3$ $м/сек$ приводит к увеличению инфильтрации в целом по зданию только на 25—30%.

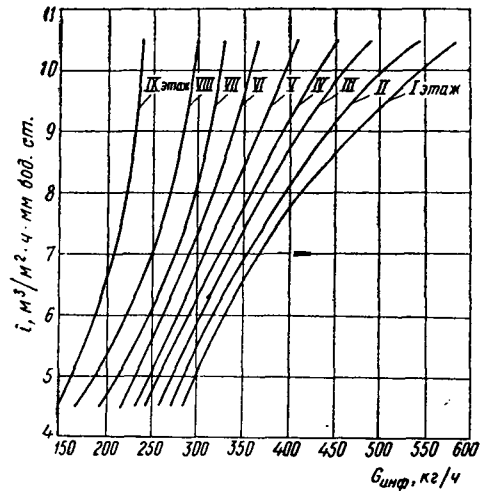


Рис. 25. Характер изменения величины инфильтрации наружного воздуха по этажам 9-этажного здания (вариант планировочного решения *а* на рис. 17) в зависимости от воздухопроницаемости наружных ограждений i (естественная вытяжная вентиляция)

Таким образом, перераспределение давлений в здании как бы «приглушает» те изменения, которые происходят вследствие изменения воздухопроницаемости наружных ограждений.

Следует также учитывать различное влияние воздухопроницаемости наружных ограждений на величину инфильтрации по этажам: большее в нижних этажах здания и меньшее в верхних этажах. Это иллюстрирует график на рис. 25.

д) Воздухопроницаемость внутренних ограждений

Поскольку воздухопроницаемость внутренних стен, перегородок и перекрытий, как правило, мала по сравнению с воздухопроницаемостью дверей, последние являются основным элементом, определяющим воздухопроницаемость внутренних ограждений. Наибольшее влияние на величину инфильтрации наружного воздуха оказывает степень воздухопроницаемости дверей, отделяющих основные помещения от вертикальных шахт здания, а также дверей, отделяющих помещения наветренной стороны здания от помещений заветренной стороны здания. Влияние дверей отделяющих основные помещения от вертикальных шахт здания можно проследить, рассмотрев два крайних случая: 1) двери полностью открыты (воздухопроницаемость их весьма высока); 2) двери полностью герметизированы. В первом случае, который

на практике часто встречается в общественных зданиях (гостиницах, школах, больницах), основные помещения здания непосредственно сообщаются с его вертикальными шахтами, т. е. здание превращается в общий воздушный объем. Во втором случае основные помещения каждого этажа полностью изолированы от вертикальных шахт здания. Они связываются между собой только вентиляционной системой.

Безусловно, что в целом по зданию наибольшая инфильтрация воздуха соответствует первому случаю, а наименьшая — второму, поскольку в первом случае величина гравитационных давлений, воздействующая на наружные ограждения, максимальна, а во втором случае она минимальна. Однако работа систем вентиляции несколько видоизменяет («приглушает») различие в величинах инфильтрующегося воздуха для этих двух случаев, вызванное гравитационным давлением.

Особенностью работы системы естественной вытяжной вентиляции в первом случае является единое располагаемое давление для всех вытяжных каналов здания. Поскольку при этом сопротивления каналов нижних этажей значительно больше сопротивлений каналов верхних этажей здания, производительность каналов верхних этажей окажется выше производительности каналов нижних этажей. Такое повышение производительности вытяжных каналов в верхних этажах часто встречается в натуре и, как указывалось выше (глава II), может служить показателем плохой воздухоизоляции внутренних ограждений (больших неплотностей дверей, нарушения воздухоизоляции перекрытий в местах пропуска стояков или в санитарно-технических шахтах и пр.).

Во втором случае, наоборот, вытяжные каналы разных этажей имеют резко различные по величине располагаемые давления, уменьшающиеся кверху. Производительность вытяжных каналов верхних этажей значительно ниже производительности вытяжных каналов нижних этажей.

Исследования, выполненные совместно с Иркутским энергетическим институтом Сибирского отделения АН СССР [31], показали, что замена в 16-этажном здании обычно применяющихся в строительстве квартирных дверей, имеющих щели шириной 2 *мм*, дверями с уплотнением пенополиуретаном по типу балконных дверей (т. е. дверями с максимально достижимой практически в современном строительстве степенью воздухоизоляции) привела к заметному перераспределению расходов воздуха в системе естественной вытяжной вентиляции по типу рассмотренного выше и весьма малому сокращению инфильтрации в нижних этажах (порядка 5%). При дросселировании вытяжных каналов нижних этажей в соответствии с нормативным расходом воздуха (различным для случая неуплотненных и уплотненных дверей) сокращение инфильтрации при уплотненных дверях в нижних этажах достигло 10%.

При воздействии ветра усиление воздухоизоляции (уплотнение дверей) вызывает значительное увеличение инфильтрации в верхних этажах здания. Это связано с тем, что объем воздуха, перетекающего под действием гравитационных давлений в верхние этажи, в этом случае сокращается и, следовательно, в этих помещениях возрастают разрежения.

Влияние воздухопроницаемости дверей, отделяющих помещения наветренной стороны от помещений заветренной стороны, на инфильтрацию воздуха в этих помещениях весьма значительно. Чем меньше воздухопроницаемость дверей, тем меньше инфильтрация воздуха в наветренных помещениях и эксфильтрация — в заветренных. Однако работа системы естественной вытяжной вентиляции и в этом случае оказывает «приглушающее» воздействие.

е) Планировка здания

Рассмотрим влияние на инфильтрацию четырех основных планировочных факторов, которые учитываются в дальнейшем при определении надбавок к теплопотерям на инфильтрацию наружного воздуха:

1) наличие или отсутствие поэтажно установленных дверей, отделяющих лестнично-лифтовой узел от коридора или холла, в который выходят двери основных помещений здания;

2) вынесение лестничной клетки за пределы основной части здания («незадымляемая» лестничная клетка) или включение ее в основной объем здания;

3) число квартир на каждом этаже, обслуживаемых одним лестнично-лифтовым узлом;

4) двусторонний или односторонний наружный вход в здание.

Следует отметить, что влияние всех этих планировочных решений на инфильтрацию наружного воздуха весьма существенно при оборудовании здания системой естественной вытяжной вентиляции без организованного притока воздуха в помещение и заметно уменьшается при наличии такого притока.

Влияние на инфильтрацию поэтажной установки дверей, отделяющих лестнично-лифтовые узлы от коридоров или холлов, в которые выходят квартирные двери, аналогично влиянию дополнительного уплотнения квартирных дверей, но, как указывалось выше (см. главу III), значительно более эффективно. Следствием такой установки дверей будет снижение инфильтрации воздуха в целом по зданию и в нижних этажах. Инфильтрация воздуха в верхних этажах остается без изменения или несколько увеличивается (в результате большего влияния ветровых воздействий). Последнее особенно характерно для зданий выше 1 этажей.

Степень влияния на инфильтрацию варианта вынесения лестничной клетки за пределы основной части здания почти всецело определяется степенью уплотнения (воздухопроницаемостью) наружных входов на каждом этаже. При малой их воздухопро

ницаемости, которая может быть осуществлена установкой дверей типа балконных с надлежащим уплотнением притворов, расходы инфильтрующегося воздуха в основных помещениях здания остаются такими же, как и при включении лестничной клетки в основной объем здания. Величины инфильтрации наружного воздуха через поэтажные наружные входы при этом близки к величинам инфильтрации через окна лестничных клеток, включенных в основной объем здания. При увеличении воздухопроницаемости поэтажных входных дверей до величин, характерных для обычных наружных входов (неуплотненные двери со средней шириной щелей притворов 3—4 *мм*), через них инфильтруется значительное количество наружного воздуха. Таким образом осуществляется неорганизованный приток воздуха в лифтовые холлы. Поступление воздуха из помещений нижних этажей здания в лифтовую шахту (являющуюся единственной вертикальной шахтой в этом случае) значительно сокращается, а во многих случаях вообще прекращается. В связи с этим сокращаются и объемы инфильтрующегося воздуха, особенно в нижних этажах зданий. Особенно существенным окажется это сокращение в здании, где вход в жилые помещения осуществляется непосредственно из лифтового холла без поэтажной установки дополнительных дверей, отделяющих квартиры от лифтового холла. При этом бóльшие изменения величины инфильтрации окажутся в здании, имеющем меньшее число квартир на этаже.

Следует отметить, что, хотя в основных помещениях здания при таком планировочном варианте объем инфильтрующегося воздуха сокращается, из-за резкого возрастания его в лестнично-лифтовом узле возможно существенное увеличение общих расходов тепла на подогрев инфильтрующегося воздуха в целом по зданию.

Влияние на инфильтрацию числа квартир на каждом этаже, приходящихся на один лестнично-лифтовой узел, рассмотрим отдельно для двух различных случаев вентиляции здания: 1) приток равен вытяжке; 2) вытяжка превалирует над притоком.

В первом случае при увеличении числа квартир на каждом этаже гравитационное давление в лестнично-лифтовом узле не изменяется. Следовательно, при лестнично-лифтовом узле, непосредственно сообщающемся с квартирами, изменение числа квартир не изменит расхода инфильтрующегося воздуха в каждой квартире. В случае, если лестнично-лифтовой узел поэтажно отделяется дверью от коридора, в который выходят квартиры, увеличение числа квартир вызовет сокращение объема инфильтрующегося воздуха в каждой из квартир в нижней половине здания и сокращение объема эксфильтрующегося воздуха в каждой из квартир в верхней половине здания. Это сокращение инфильтрации и эксфильтрации в каждой квартире произойдет при одновременном увеличении объема воздуха, проходящего через двери, отделяющие лестнично-лифтовой холл от коридора, с соот-

ветствующим увеличением перепада давлений по обе стороны этих дверей.

Во втором случае, когда преобладает вытяжка, увеличение числа квартир и соответствующее значительное увеличение объемов вытяжки в целом по зданию вызовет снижение давления (увеличение разрежений) в лестнично-лифтовом узле. В связи с этим количество воздуха, инфильтрующегося через окна в квартирах нижних этажей и перетекающего затем в лестничную клетку, заметно возрастет. Наличие двери в каждом этаже между лестнично-лифтовым узлом и коридором несколько «приглушает» это нарастание инфильтрации, однако, как показывают исследования, оно и в этом случае остается значительным и для зданий выше 12 этажей должно учитываться при расчете.

Влияние на инфильтрацию двустороннего наружного входа в здание выражается в том, что помимо инфильтрации наружного воздуха через вход в здание, непосредственно сообщающийся с лестничной клеткой, в этом случае происходит инфильтрация воздуха через входные двери противоположного фасада, не сообщающиеся непосредственно с лестничной клеткой, но сообщающиеся с коридором или холлом, в который выходят основные помещения I этажа здания. В связи с этим разрежения внутри этого коридора или холла уменьшаются и объем воздуха, инфильтрующегося в помещения I этажа, сокращается. При двустороннем входе в здание инфильтрация воздуха в I этаже оказывается меньшей, чем инфильтрация воздуха во II этаже; количество воздуха, перетекающего в лестничную клетку (или лестнично-лифтовой холл), в I этаже также меньше, чем во II этаже здания.

Приведенный обзор свидетельствует об очень сложной зависимости величины инфильтрации наружного воздуха от комплекса климатических условий, конструктивно-планировочных решений и принятых систем вентиляции здания. Эта зависимость становится тем заметнее и ощутимее, чем больше высота здания.

Очевидно, что попытка свести расчет инфильтрации к единой расчетной формуле, не учитывающей или учитывающей не в полной мере все факторы, о которых говорилось выше, может привести к серьезным ошибкам при проектировании.

Ниже приведены данные для определения добавочных теплопотерь на инфильтрацию наружного воздуха с учетом названных факторов, влияющих на величину инфильтрации.

2. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДБАВОК К ТЕПЛОПОТЕРЯМ НА ИНФИЛЬТРАЦИЮ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

Надбавки к теплопотерям на инфильтрацию наружного воздуха выражаются в виде добавочных коэффициентов теплопередачи окна или балконной двери, определяемых по следующей зависимости:

$$K_д = A g c \; ккал/м^2 \cdot ч \cdot град, \qquad (108)$$

где A — коэффициент, учитывающий теплообмен между инфильтрующимся воздухом и конструкцией окна [34];

g — количество наружного воздуха, поступающего в помещение через 1 $м^2$ окна или балконной двери вследствие сквозной инфильтрации, в *кг/ч*;

c — удельная теплоемкость воздуха в *ккал/кг · град*.

Учитывая, что в современном строительстве используют в основном окна со спаренными переплетами, величину коэффициента A при наших расчетах принимаем равной 0,9. При раздельных переплетах $A \approx 0{,}8$ и $K_д$ снижается соответственно на 10%.

Величину g определяем по выражению

$$g = \frac{G_{инф}}{F_o},$$

где $G_{инф}$ — количество воздуха, инфильтрующегося в помещение, в *кг/ч*;

F_o — площадь окон помещения (или квартиры) в $м^2$.

Величина $G_{инф}$ определяется с учетом воздухопроницаемости всех элементов наружных ограждений, включая стыки и массивы наружных стен. Воздухопроницаемость этих элементов можно приближенно учесть путем увеличения коэффициента воздухопроницаемости окон i, на основании которого определяются коэффициенты A и B в уравнениях (5), на величину

$$\Delta i = \frac{i_{ст} l_{ст} + i_c F_c}{F_o}, \qquad (109)$$

где $i_{ст}$ — коэффициент воздухопроницаемости стыков наружных стен и мест примыкания к стене оконных коробок в $м^3/пог.\ м \cdot ч \cdot мм\ вод.\ ст.$;

$l_{ст}$ — суммарная длина стыков наружных стен и периметров оконных коробок в *пог. м*;

i_c — коэффициент воздухопроницаемости массива наружных стен в $м^3/м^2 \cdot ч \cdot мм\ вод.\ ст.$;

F_c и F_o — площади соответственно стен и окон в $м^2$.

Коэффициенты $i_{ст}$ и i_c при отсутствии данных об их величинах могут быть приняты согласно указаниям СНиП II-В.6-62.

Произведения $i_{ст}\ l_{ст}$ и $i_c\ F_c$ представляют собой количество воздуха, инфильтрующегося соответственно через стыки наружных стен и места примыкания к стенам оконных коробок и через массивы наружных стен при перепаде давлений по обе стороны наружных ограждений 1 *мм вод. ст.* Поскольку зависимость величины инфильтрации от перепада давлений является линейной для стен и стыков и нелинейной для окон, величина надбавки Δi, определенная по зависимости (109), при перепадах давлений, отличных от 1 *мм вод. ст.*, несколько неточна. Однако в связи с ма-

лым значением величины Δi погрешность в определении велич ны $G_{\text{инф}}$, как правило, не превышает 5%.

Вычисление надбавок к теплопотерям путем установлен добавочного коэффициента теплопередачи окна $K_{\text{д}}$ целесообра но в связи с тем, что окна и балконные двери являются наибол воздухопроницаемыми элементами наружных ограждений. И вестно, что количество наружного воздуха, инфильтрующегос через стены и перекрытия, при надлежащем выполнении после них не превышает 10% величины инфильтрации через окна балконные двери.

Вычисление надбавок на инфильтрацию наружного воздуха процентном отношении к теплопотерям всех вертикальных ограж дающих конструкций, как это предлагает СНиП II-Г.7-62, мен целесообразно, поскольку величина инфильтрации не имеет пр мой связи с размерами стен, а также с теплопотерями всех ве тикальных ограждающих конструкций. При таком вычислени надбавок на инфильтрацию получаются завышенные величин надбавок в зданиях с высокими коэффициентами теплопереда наружных ограждений, строящихся преимущественно в район с теплым климатом, и заниженные величины надбавок в здани с пониженными коэффициентами теплопередачи, строящихся районах с холодным климатом. Занижение величин надбавок последнем случае особенно существенно, поскольку в холодн климатической зоне в связи с повышенными гравитационны давлениями (при прочих равных условиях) инфильтрация н ружного воздуха в нижних этажах зданий повышенной этажн сти весьма велика.

При необходимости определения величины надбавки на и фильтрацию в виде процентного отношения ее к основным тепл потерям вертикального ограждения данного помещения α мож воспользоваться графиком приложения 5. Этот график показ вает зависимость между величинами α и $K_{\text{д}}$ при различны значениях коэффициента остекления φ. Под величиной φ пон мается отношение площади остекления $F_{\text{о}}$ (площадь окон, ба конных дверей) к площади всего вертикального ограждени $F_{\text{о}}+F_{\text{ст}}$:

$$\varphi = \frac{F_{\text{о}}}{F_{\text{о}} + F_{\text{ст}}}. \qquad (11$$

График составлен исходя из значений основных коэффицие тов теплопередачи для стен $K_{\text{ст}}=0{,}9$ *ккал/м²·ч·град* и д окон $K_{\text{о}}=2{,}7$ *ккал/м²·ч·град*. При других значениях $K_{\text{ст}}$ и график должен быть соответственно перестроен.

Расчетная отопительная температура, принятая при опред лении величин $K_{\text{д}}$ окон, равна —26° С; уплотнение окон предп лагается выполненным в соответствии с рекомендациями СНи для зданий повышенной этажности при расчетной отопительн температуре от —16 до —30° С. Использование предлагаем

значений $K_д$ окон для определения надбавок на инфильтрацию наружного воздуха при условии уплотнения наружных ограждений, соответствующего рекомендованному СНиП II-В.6-62, возможно не только для тех температур, на которые они рассчитаны, но и в значительно более широком диапазоне расчетных температур наружного воздуха — примерно от —20 до —40° С. Возможность такого расширения области применения рекомендуемых надбавок к теплопотерям обусловлена следующим.

При изменении температур наружного воздуха от —20 до —30° С и уплотнении окон, соответствующем этим температурам, величина $K_д$ окна, рассчитанная для $t_н = -26°$ С, изменяется в относительно небольших пределах (5% общих теплопотерь). При снижении расчетной температуры наружного воздуха ниже —30° С гравитационное давление, вызывающее инфильтрацию наружного воздуха, существенно возрастает, но вместе с тем увеличивается степень уплотнения наружных ограждений. В результате необходимая величина надбавок к теплопотерям при минус 30 — минус 40° С укладывается примерно в те же пределы, что и при минус 20 — минус 30° С.

При расчетных температурах выше —20° С гравитационные давления уменьшаются, но в то же время при $t_н = -16°$ С степень уплотнения окон становится значительно меньшей. При этом происходит некоторое перераспределение надбавок в сторону их уменьшения в нижних и увеличения в верхних этажах зданий. Значения надбавок, предлагаемые в п. 3 данной главы для местностей с расчетной отопительной температурой —20° С и выше, могут быть приняты только в качестве первого приближения. Весьма важную роль при этом приобретает величина воздухопроницаемости наружных ограждений, которая, как правило, в зданиях, расположенных в районах с относительно высокой расчетной отопительной температурой, т. е. с теплым климатом, изменяется в весьма широких пределах.

Добавочные коэффициенты теплопередачи окон $K_д$ учитывают только количество тепла, необходимое для подогрева инфильтрующегося воздуха, и не учитывают другие надбавки к теплопотерям (на ориентацию помещений по странам света, угловые помещения и пр.).

Следует отметить, что в тепловом балансе жилых зданий, как правило, значительную роль играют таже бытовые тепловыделения. Учет бытового тепла при расчете теплопотерь зданий до сих пор не узаконен какими-либо нормативами. Обычно при расчете теплопотерь величина бытовых тепловыделений условно принимается равной количеству тепла, потребному для нагревания наружного воздуха, компенсирующего нормативный объем естественной вытяжной вентиляции, в связи с чем обе эти величины в тепловом балансе не учитываются. Такой метод в известной степени был оправдан многолетней практикой строительства и эксплуатации зданий малой этажности. Однако в настоящее

время его нельзя считать удовлетворительным по многим причинам. Наиболее существенные из них следующие:

1) количество бытового тепла в весьма малой степени зависит от климатического района, в котором расположено здание, в то время как количество тепла, потребного для нагревания воздуха в объеме, компенсирующем нормативную вытяжку, зависит от этого фактора весьма существенно, изменяясь прямо пропорционально разности расчетной отопительной температуры наружного воздуха и температуры воздуха внутри помещений;

2) для средней и холодной климатических полос СССР величина бытовых тепловыделений всегда оказывается значительно

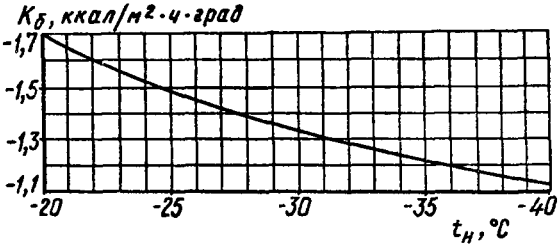


Рис. 26. Зависимость значений $K_б$ окон от расчетной отопительной температуры наружного воздуха $t_н$

меньше количества тепла, расходуемого на нагревание воздуха, компенсирующего вытяжку.

Удовлетворительный тепловой режим в ранее построенных зданиях свидетельствует о том, что при расчете систем отопления или при расчете теплопередачи наружными ограждениями имелись неучитываемые запасы тепла. Такими запасами могли быть заниженные коэффициенты теплопередачи нагревательных приборов, неучтенная теплоотдача стояков и подводок к нагревательным приборам, недостаточный учет теплоустойчивости помещений и пр. В настоящее время все эти факторы учитываются со значительно большей точностью, в связи с чем подаваемое в помещение количество тепла при одних и тех же его теплопотерях сокращается.

Сама величина бытовых тепловыделений в последние годы в связи с резким увеличением объема жилищного строительства также претерпела изменения, поскольку плотность заселения резко уменьшилась и заселение квартир стало в основном посемейным.

Учитывая эти обстоятельства, можно сказать, что в настоящее время существенно необходим более точный учет бытовых тепловыделений в жилых зданиях.

В 1967 г. в связи с разработкой «Временных указаний по надбавкам к теплопотерям жилых зданий» ЛенЗНИИЭП проведены расчеты и предложены данные для определения величин быто-

вого тепла в квартирах с посемейным заселением при пользовании газовыми плитами. Для удобства расчетов эти данные, так же как и $K_д$, отнесены к 1 $м^2$ окна и выражены в виде коэффициента $K_б$ окон, подобного $K_д$ окон, но с отрицательным знаком. Величины $K_б$ окон различны при разных расчетных отопительных температурах наружного воздуха (рис. 26). Расчетная величина бытовых тепловыделений остается постоянной при всех значениях $t_н$, составляя 65 *ккал/ч* на 1 $м^2$ площади окна или балконной двери.

3. НАДБАВКИ К ТЕПЛОПОТЕРЯМ НА ИНФИЛЬТРАЦИЮ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

Необходимые надбавки на инфильтрацию в виде добавочных коэффициентов теплопередачи окон $K_д$ для 9, 16 и 25-этажных зданий, оборудованных системами естественной вытяжной вентиляции, приведены на рис. 23, 24 и 27—30. Общий характер изменения надбавок с изменением температуры наружного воздуха (при учете скорости ветра) соответствует описанию, изложенному ранее.

Из приведенных данных следует

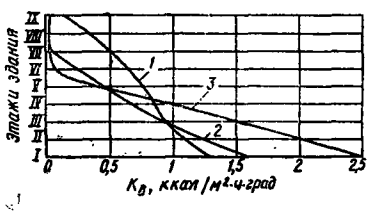


Рис. 27. Надбавки на инфильтрацию в 9-этажном здании (приток равен вытяжке)

1 — при $t_н$=—5° С; *2* — при $t_н$=—20° С; *3* — при $t_н$=—30° С

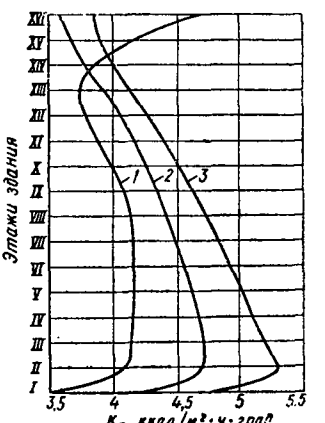


Рис. 28. Надбавки на инфильтрацию в 16-этажном здании типа «пластинка» (естественная вытяжка, вариант планировочного решения *д* на рис. 17)

1 — при $t_н$=—5° С; *2* — при $t_н$=—20° С; *3* — при $t_н$=—30° С

что в одном и том же помещении надбавки к теплопотерям не могут быть одинаковыми при всех температурах наружного воздуха. Добавочные теплопотери на инфильтрацию не подчиняются линейному закону изменения в зависимости от разности температур внутреннего и наружного воздуха, характерному для основных теплопотерь здания. Поскольку регулирование системы отопления зданий производится на основе линейной зависимости, при выборе расчетных надбавок на инфильтрацию, соответствующих какой-либо одной температуре наружного воздуха, мы неизбеж-

Этаж здания	Естественная вытяжка без притока или вытяжка, превышающая приток на ол											
	непосредственный вход в квартиры из лестничной клетки или лифтового холла (см. рис. 17, *а* и *б*)								лестнично-лифтовой у дора или хо			
	$K_д$ при э											
	9	10	11	12	13	14	15	16	9	10	11	1
I	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6	6,2	6,4	5,1	5,2	5,2	5,
II	5,2	5,3	5,5	5,6	5,8	5,9	6,1	6,3	4,9	5	5,1	5,
III	4,8	5	5,2	5,4	5,6	5,8	6	6,2	4,7	4,8	4,9	5
IV	4,6	4,8	5	5,2	5,4	5,6	5,8	6,1	4,5	4,6	4,7	4,
V	4,4	4,6	4,8	5	5,2	5,5	5,7	6	4,3	4,4	4,5	4,
VI	4,2	4,3	4,6	4,7	5	5,3	5,6	5,9	4,1	4,2	4,3	4.
VII	4	4,1	4,3	4,5	4,8	5,1	5,4	5,7	3,9	4	4,1	4
VIII	3,5	3,7	4	4,2	4,6	4,9	5,2	5,6	3,4	3,6	3,8	4
IX	2,9	3,3	3,6	4	4,3	4,7	5	5,4	2,9	3,2	3,4	3
X		2,9	3,3	3,6	4	4,4	4,8	5,3		2,9	3,1	3
XI			2,9	3,2	3,6	4,1	4,6	5,1			2,9	$\frac{2}{3}$
XII				$\frac{2,7}{2,9}$	$\frac{3,2}{3,3}$	$\frac{3,7}{3,8}$	4,3	4,9				$\frac{2}{2}$
XIII					$\frac{2,8}{3}$	$\frac{3,3}{3,5}$	4	4,6				
XIV						$\frac{2,9}{3,3}$	$\frac{2,6}{3,8}$	4,3				
XV							$\frac{3}{3,5}$	$\frac{3,7}{4}$				
XVI								$\frac{3,1}{3,7}$				

Примечания: 1. В числителе приведена величина $K_д$ при расчетной отопитель тельный период.

2. В помещениях, где приток преобладает над вытяжкой на величину однократ до 5 *м/сек* равны нулю и в связи с этим в таблице не приведены.

3. При наличии двустороннего входа в здание величины $K_д$ для окон I этажа

4. Если объем вытяжки из каждого этажа здания менее 1500 *м³/ч*, величины $K_д$ уменьшать на 0,3 *ккал/м² · ч · град* при объеме вытяжки 1500—1200 *м³/ч* и

5. Если планировка здания предусматривает неуплотненные наружные переходы в лест без притока уменьшаются на величину $K_{пл}$, приведенную в табл. 16.

6. При расчетной скорости ветра выше 5 *м/сек* значения $K_д$ следует увеличивать

7. При организованном притоке воздуха в лестничную клетку, исключающем перетек без притока должны быть уменьшены на 1,3 *ккал/м² · ч · град* при непосредственном в узла.

Таблица 15

основной части здания в *ккал/м² · ч · град*

кратный объем здания / отделен дверью от коридора (см. рис. 17, *в*, *г* и *д*) / ности здания	Приток равен вытяжке											
13	14	15	16	9	10	11	12	13	14	15	16
5,3	5,3	5,3	5,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7
5,2	5,2	5,2	5,2	2	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,5
5	5,1	5,1	5,1	1,6	1,8	1,9	2	2	2,1	2,1	2,2
4,8	4,9	4,9	4,9	1	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
				0,4	0,7						
4,7	4,8	4,8	4,9	0,8	1	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
				0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1		
4,5	4,6	4,7	4,8	0,7	0,7	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4
				0	0	0,1	0,2	0,4	0,5	0,7	0,9
4,3	4,5	4,6	4,7	0,5	0,5	0,6	0,7	0,2	1	1,1	1,2
				0	0	0	0	0,1	0,3	0,5	0,6
4,2	4,4	4,5	4,6	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1
				0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,2
3,9	4,1	4,3	4,5	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6	0,8
								0	0	0	0
3,6	3,9	4,2	4,5		0	0	0	0,2	0,3	0,4	0,5
3,3									0	0	0
	3,7	4,1	4,4			0	0	0	0,2	0,2	0,3
3,4										0	0
2,9	3,4	4	4,4				0	0	0	0,1	0,1
3,2	3,6										
2,8	3,2	3,6	4,1					0	0	0	0
3,3	3,7	4,1	4,3								
	3,2	3,5	3,9						0	0	0
	3,7	4,2	4,4								
		3,5	3,8							0	0
		4,3	4,5								
			3,7								0
			4,5								

температуре наружного воздуха, а в знаменателе — максимальное значение $K_д$ за отопи-

объема зданий, величины $K_д$ во всех основных помещениях при расчетной скорости ветра

естественной вытяжке без притока следует уменьшать на 0,5 *ккал/м² · ч · град*.

14—16-этажных зданий при отделении лестнично-лифтового узла дверью от коридора можно 0,5 *ккал/м² · ч · град* при объеме вытяжки 1000—700 *м³/ч*.

ичную клетку на каждом этаже (тип *Б* на рис. 17), значения $K_д$ при естественной вытяжке

величины $K_в$, указанные в табл. 17.

воздуха между этажами, величины $K_д$ для 12—16-этажных зданий при естественной вытяжке в квартиры и на 0,2 *ккал/м² · ч · град* при отделении дверью квартир от лестнично-лифтового

но получим недогрев или перегрев отдельных помещений при других температурах воздуха.

Задачей расчета системы отопления является обеспечение регламентированной СНиП температуры воздуха внутри помещений в течение всего отопительного периода. Для того чтобы исключить возможность понижения температуры ниже нормативной, следовало бы при расчете теплопотерь принимать макси-

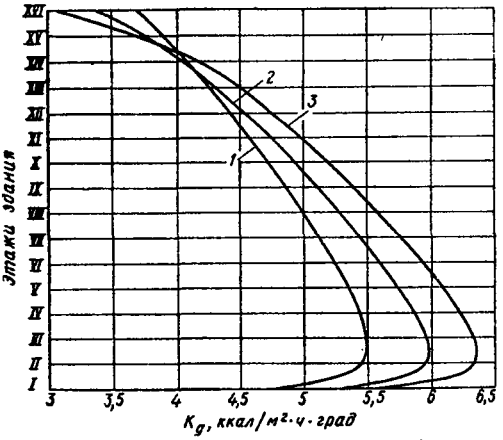


Рис. 29. Надбавки на инфильтрацию в 16-этажном здании типа «башня» (естественная вытяжка, вариант планировочного решения *б* на рис. 17)

1 — при $t_н$=—5° С; *2* — при $t_н$=—15° С; *3* — при $t_н$=—26° С

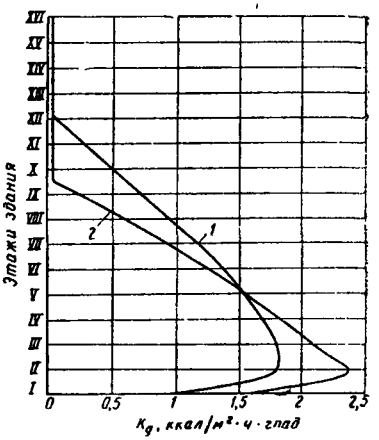


Рис. 30. Надбавки на инфильтрацию в 16-этажном здании (приток равен вытяжке, вариант планировочного решения *е* на рис. 17)

1 — при $t_н$=—5° С; *2* — при $t_н$=—26° С

мально возможные в течение отопительного периода значения надбавок на инфильтрацию. При таком учете надбавок на инфильтрацию и при существующем способе центрального регулирования систем отопления мы заведомо получаем некоторый перерасход тепла в течение отопительного периода. Возможности для полного или частичного устранения этого перерасхода тепла и вместе с тем устранения перегрева помещений при центральном качественном регулировании системы отопления разобраны далее в главе VI. Там же показано, что в жилых зданиях высотой 9—16 этажей можно рекомендовать при расчете теплопотерь учитывать не максимальные значения надбавок на инфильтрацию в течение отопительного периода, а их значения при расчетной отопительной температуре наружного воздуха.

В табл. 15—19 приведены значения надбавок к теплопотерям на инфильтрацию в основных помещениях, лестничных клетках и лифтовых холлах при расчетной отопительной температуре наружного воздуха и максимальные их значения за отопитель-

Таблица 16

Значения $K_{пл}$ для планировок типа Б

Этаж, считая от середины здания		Непосредственный вход в квартиры из лифтового холла (см. рис. 17, *е*)	Лифтовый холл отделен дверью от коридора (см. рис. 17, *ж* и *и*)	
вверх	вниз	$K_{пл}$ при количестве квартир на этаже		
		5	18	5
1	—	1	0	0
2	—	0,9	0	0
3	—	0,8	0	0
4	—	0,7	0	0
5	—	0,6	0	0
6	—	0,4	0	0
7	—	0,4	0	0
8	—	0,3	0	0
—	1	1,1	0,1	0,1
—	2	1,1	0,1	0,3
—	3	1,2	0,2	0,5
—	4	1,2	0,2	0,7
—	5	1,3	0,3	0,7
—	6	1,3	0,3	0,8
—	7	1,3	0,3	0,8
—	8	1,3	0,3	0,9

Таблица 17

Значения $K_в$

Этаж здания	Скорость ветра в *м/сек*			
	7		9	
	$K_в$ при этажности здания			
	9—13	14—16	9—13	14—16
I	0	0	0,4	0
II	0,4	0	0,8	0
III	0,5	0	0,9	0,1
IV	0,6	0,1	1,1	0,1
V	0,7	0,1	1,1	0,2
VI	0,8	0,15	1,2	0,2
VII	0,8	0,2	1,3	0,25
VIII	0,9	0,2	1,4	0,25
IX	0,9	0,2	1,4	0,3
X	0,95	0,2	1,5	0,4
XI	1	0,3	1,5	0,5
XII	1,05	0,3	1,6	0,6
XIII	1,1	0,4	1,6	0,7
XIV		0,4		0,8
XV		0,5		0,9
XVI		0,5		1

Значения $K_д$ окон лестничных клеток и наружных входов в лестничные клетки в *ккал/м² · ч · град* (для зданий типа А на рис. 17)

Этажность здания	Значения $K_д$					
	окон лестничных клеток			наружных входов в лестничные клетки***		
	естественная вытяжка без притока*	вытяжка равна притоку	приток превышает вытяжку на однократный объем здания	естественная вытяжка без притока**	вытяжка равна притоку	приток превышает вытяжку на одиократный объем здания
9	4,7	0,5	0	28	21	11
10	4,8	0,7	0	29	21	12
11	4,9	0,9	0	30	22	14
12	5	1,2	0	31	22	16
13	5,2	1,4	0	35	24	17
14	5,4	1,6	0	39	26	18
15	5,6	1,8	0	43	28	19
16	5,8	2	0	48	30	20

* При оргаиизованном притоке воздуха в лестничную клетку $K_д$ может быть уменьшено на 3,5 *ккал/м² · ч · град* при непосредственном входе в квартиры из лестничной клетки и на 1,3 *ккал/м² · ч · град* при лестнично-лифтовом узле, отделенном дверями от основной части здания.

** При организованном притоке воздуха в лестничную клетку $K_д$ может быть уменьшено на 15 *ккал/м² · ч · град* при непосредственном входе в квартиры из лестничной клетки или лифтового холла и на 5 *ккал/м² · ч · град* при лестнично-лифтовом узле, отделенном дверями от основной части здания.

*** При двух входах в здание, расположенных с противоположных фасадов, $K_д$ для входа, не сообщающегося непосредственно с лестничной клеткой (отделенного от нее дверью), может быть уменьшено на 10 *ккал/м² · ч · град*.

ный период. Все надбавки даны в виде добавочных коэффициентов теплопередачи окон и входов в здания.

Особенностью приведенных надбавок является то, что они позволяют учитывать различные типы планировочных решений здания: непосредственный вход в квартиры из лестнично-лифтового узла и вход из коридора, отделенного поэтажно от лестнично-лифтового узла дверью; вход в здание с одного и с двух противоположных фасадов здания; планировка, при которой лестница включена в основной объем здания, и планировка, при которой она отделена от него поэтажными наружными переходами; планировки, предусматривающие различное число квартир на каждом этаже. Кроме того, учитываются необходимое изменение надбавок в зданиях разной этажности при увеличении расчетной скорости ветра до 9 *м/сек*, а также изменения, которые вызывает приток воздуха в лестничную клетку в объеме, исключающем перетекание воздуха между этажами, при естественной вытяжной вентиляции.

Надбавки на ориентацию и угловое помещение учитываются дополнительно в соответствии со СНиП II-Г.7-62.

Таблица 19

Значения $K_д$ окон и наружных дверей лифтовых холлов и лестничных клеток, сообщающихся между собой поэтажными открытыми переходами (для 16-этажных зданий типа Б на рис. 17), в *ккал/м² · ч · град*

Этаж здания	Значения $K_д$		
	окон лифтовых холлов	поэтажных наружных входов	
		лифтовых холлов	лестниц
I	6,5	43	34
II	6,4	40	30
III	6,2	37	27
IV	6	35	24
V	5,7	34	22
VI	5,4	32	20
VII	5	30	18
VIII	4,6	28	16
IX	4,2	26	16
X	3,6	35	17
XI	3	24	18
XII	2,4	22	19
XIII	2,2	20	19
XIV	2,1	18	20
XV	2,1	18	21
XVI	2,1	18	23

Примечания: 1. Для окон лестничных клеток следует принимать $K_д = 2{,}2$ *ккал/м² · ч · град*.

2. При уплотненных поэтажных наружных входах $K_д$ для них следует принимать как для соответствующих окон с коэффициентом 1,2.

Следует иметь в виду, что представленные надбавки учитывают инфильтрацию воздуха в лестничные клетки и лифтовые холлы только при закрытых наружных входах. В жилых зданиях открывание дверей для прохода является, как правило, весьма кратковременным и введение специальных надбавок на нагревание врывающегося при этом воздуха не требуется.

Использование предлагаемых надбавок при расчете теплопотерь поясняют приведенные ниже примеры.

Пример 3. Рассчитать теплопотери угловой северо-западной комнаты *А* на III этаже 11-этажного здания с естественной вытяжной вентиляцией (без притока) при $t_н = -26°$ С и $v_б = 5$ *м/сек*. Лестнично-лифтовой узел поэтажно отделен дверями от коридоров, в которые выходят двери квартир.

Расчет сведен в табл. 20. Величина $K_д$ принята по табл. 15 равной 4,9 *ккал/м² · ч · град*.

Пример 4. Рассчитать теплопотери промежуточной комнаты *Б*, а также наружного ограждения лифтового холла XVI этажа типового 16-этажного жилого здания с естественной вытяжной вентиляцией при $t_н = -20°$ С и $v_в = 7$ *м/сек*. Вход в квартиры непосредственно из лифтового холла. В здании предусмотрены поэтажные неуплотненные наружные переходы из лифтового холла в лестничную клетку. Надбавки к теплопотерям приняты соответствующими расчетной отопительной температуре наружного воздуха.

Этаж	Помещение	Ограждение	Размер ограждения в *м*	Площадь ограждения в *м²*	Перепад температур $t_в - t_н$ в *град*	Основной коэффициент теплопередачи $K_{осн}$ в *ккал/м²×ч·град*
						При
III	Комната *А*	Наружная стена С	4×2,7	10,8	18+26=44	0,9
		Окно С	1,4×1,4	1,96	44	2,7—0,9= =1,8
		Наружная стена З	5×2,7	13,5	44	0,9
						При
XVI	Комната *Б*	Наружная стена	4×2,7	10,8	18+20=38	0,9
		Окно	2,3×1,4	3,22	38	2,7—0,9= =1,8
—	Лифтовой холл	Наружная стена	3×2,7	8,1	16+20=36	0,9
		Входная дверь	0,6×1,5	0,9	36	2,5—0,9= =1,6
						При
I	Комната *В*	Наружная стена	4×2,7	10,8	18+26=44	0,9
		Окно	1,4×1,4	1,96	44	2,7—0,9= =1,8
—	Лестничная клетка	Наружная стена	3×4,3	129	16+26=42	0,9
		Окна	15×1,4× ×1,4	29,2	42	2,7—0,9= =1,8
		Наружный вход	0,9×1,8	1,62	42	2,5—0,9= =1,6

помещений

Основные теплопотери в *ккал/ч*	Добавочные теплопотери								Общие теплопотери в *ккал/ч*
	на ориентацию в %	на угловое помещение в %	на ориентацию и угловое помещение		на инфильтрацию $K_д$ в *ккал/м²·ч·град*	бытовое тепло $K_б$ в *ккал/м²·ч·град*	сумма инфильтрации и бытового тепла		
			в %	в *ккал/ч*			$K_д+K_б$, *ккал/м²×ч·град* ×	$(K_д+K_б)\times(t_в-t_н)\times F_o$, *ккал/ч*	
мер 3									
428	10	5	15	64	—	—	—	—	492
155	10	5	15	23	4,9	—1,5	3,4	292	470
535	5	5	10	54	—	—	—	—	589
Σ 1118				Σ 141				Σ 292	Σ1551
мер 4									
370	8	—	8	30	—	—	—	—	400
220	8	—	8	18	3,3	—1,7	1,6	195	433
Σ 590				Σ 48				Σ 195	Σ 833
262	8	—	8	21	—	—	—	—	283
52	8	—	8	4	18	—	18	587	643
Σ 314				Σ 25				Σ 587	Σ 926
мер 5									
428	8	—	8	34	—	—	—	—	462
155	8	—	8	12	4,3	—1,5	2,8	240	407
Σ 583				Σ 46				Σ 240	Σ 869
4870	8	—	8	390	—	—	—	—	5260
2220	8	—	8	178	4,5	—	4,5	5500	7898
109	8	—	8	9	43	—	43	2940	3058
Σ 7199				Σ 577				Σ 8440	Σ 16216

Этаж	Помещение	Ограждение	Размер ограждения в *м*	Площадь ограждения в $м^2$	Перепад температур $t_в - t_н$ в *град*	Основной коэффициент теплопередачи $K_{осн}$ в $ккал/м^2 \times ч \cdot град$
—	Входной вестибюль	Наружная стена	3×3	9	42	0,9
		Наружный вход	0,9×1,8	1,62	42	2,5—0,9= =1,6
—	Лестничная клетка	Наружная стена	3×43	129	10+26=36	0,9
		Окна	15×1,4× ×1,4	29,2	36	2,7—0,9= =1,8
		Поэтажные наружные входы	15×0,9× ×1,8	24,2	36	2,5—0,9= =1,6
IV	Комната *Г*	Наружная стена	4×2,7	10,8	18+26=44	0,9
		Окно	1,4×1,4	1,96	44	2,7—0,9= =1,8
—	Лестничная клетка	Наружная стена	3×43	129	16+26=42	0,9
		Окна	15×1,4× ×1,4	29,2	42	2,7—0,9= =1,8
		Наружный вход	0,9×1,8	1,62	42	2,5—0,9= =1,6
III	Комната *Г*	Наружная стена	4×2,7	10,8	18+26=44	0,9
		Окно	1,4×1,4	1,96	44	2,7—0,9= =1,8

Основные теплопотери в *ккал/ч*	Добавочные теплопотери: на ориентацию в %	на угловое помещение в %	на ориентацию и угловое помещение: в %	на ориентацию и угловое помещение: в *ккал/ч*	на инфильтрацию $K_д$ в *ккал/м²·ч·град*	бытовое тепло $K_б$ в *ккал/м²·ч·град*	сумма инфильтрации и бытового тепла: $K_д+K_б$, *ккал/м²·ч·град* ×	$(K_д+K_б)\times(t_в-t_н)\times F_о$, *ккал/ч*	Общие теплопотери в *ккал/ч*
340	8	—	8	27	—	—	—	—	367
109	8	—	8	9	38	—	38	2580	2698
Σ 449				Σ 36				Σ 2580	Σ3065
мер 6									
4170	8	—	8	330	—	—	—	—	4500
1890	8	—	8	150	2,2	—	2,2	2300	4340
1400	8	—	8	110	2,6	—	2,6	2260	3770
Σ 7460				Σ 590				Σ 4560	Σ12610
мер 7									
428	8	—	8	34	—	—	—	—	462
155	8	—	8	12	2	—1,5	0,5	43	210
Σ 583				Σ 46				Σ 43	Σ 672
4870	8	—	8	390	—	—	—	—	5260
2220	8	—	8	178	2	—	2	2460	4858
109	8	—	8	9	30	—	30	2040	2158
Σ 7199				Σ 577				Σ 4500	Σ 12276
мер 8									
428	8	—	8	34	—	—	—	—	462
155	8	—	8	12	0	—1,5	—1,5	—129	38
Σ 583				Σ 46				Σ—129	Σ 500

Этаж	Помещение	Ограждение	Размер ограждения в *м*	Площадь ограждения в *м²*	Перепад температур $t_в - t_н$ в *град*	Основной коэффициент теплопередачи $K_{осн}$ в *ккал/м²×ч·град*
—	Лестничная клетка	Наружная стена	3×43	129	16+26=42	0,9
		Окна	15×1,4×1,4	29,2	42	2,7—0,9=1,8
		Наружный вход	0,9×1,8	1,62	42	2,5—0,9=1,6

Расчет сведен в табл. 20. Величина $K_д$ для окон комнаты принята по табл. 15 с учетом примечаний 1, 5 и 6 к ней: $K_д = 3{,}1 - 0{,}3 + 0{,}5 = 3{,}3$ *ккал/м²·ч·град*. Величина $K_д$ для наружного входа холла принята по табл. 19 равной 18 *ккал/м²·ч·град*.

Пример 5. Рассчитать теплопотери комнаты *В* на I этаже, лестничной клетки и входного вестибюля 16-этажного здания с двусторонним наружным входом при наличии дверей, поэтажно отделяющих лестнично-лифтовой узел от коридоров, в которые выходят двери квартир. Расчетный объем естественной вытяжной вентиляции каждого этажа 1400 *м³/ч*. Имеется организованный приток воздуха в лестничную клетку, исключающий перетекание воздуха между этажами. Значение $t_н = -26°$ С, $v_в = 5$ *м/сек*.

Расчет сведен в табл. 20. Величина $K_д$ для окон комнаты принята по табл. 15 с учетом примечаний 3, 4 и 7 к ней: $K_д = 5{,}3 - 0{,}5 - 0{,}3 - 0{,}2 = 4{,}3$ *ккал/м²·ч·град*. Величина $K_д$ для окон лестничной клетки принята по табл. 18: $K_д = 5{,}8 - 1{,}3 = 4{,}5$ *ккал/м²·ч·град*. Величина $K_д$ для наружного входа, сообщающегося с лестничной клеткой, также принята по табл. 18: $K_д = 48 - 5 = 43$ *ккал/м²·ч·град*. Величина $K_д$ для наружного входа, не сообщающегося непосредственно с лестничной клеткой, принята по табл. 18 с учетом отделения его от лестничной клетки: $K_д = 48 - 10 = 38$ *ккал/м²·ч·град*.

Пример 6. Рассчитать теплопотери отапливаемой лестничной клетки 16-этажного здания, отделенной уплотненными наружными входами от основной части здания, при $t_в = -26°$ С и $v_н = 5$ *м/сек*. Температура внутри лестничной клетки $t_в = 10°$ С.

Расчет сведен в табл. 20. Величина $K_д$ для окон лестничной клетки принята по табл. 19 равной 2,2 *ккал/м²·ч·град*. Величина $K_д$ для уплотненных поэтажных входов принята также по табл. 19 с учетом примечания 2 к ней: $K_д = 1{,}2 \cdot 2{,}2 = 2{,}6$ *ккал/м²·ч·град*.

Пример 7. Рассчитать теплопотери комнаты *Г* на IV этаже, а также лестничной клетки 16-этажного здания, оборудованного приточной и вытяжной вентиляцией в равном объеме при $t_н = -26°$ С и $v_в = 5$ *м/сек*.

Расчет сведен в табл. 20. Величина $K_д$ окон комнаты принята по табл. 15 равной 2 *ккал/м²·ч·град*. Величина $K_д$ окон лестницы принята по табл. 18 равной 2 *ккал/м²·ч·град*. Величина $K_д$ наружного входа также принята по табл. 18 равной 30 *ккал/м²·ч·град*.

Продолжение табл. 20

Основные теплопотери в *ккал/ч*	Добавочные теплопотери								Общие теплопотери в *ккал/ч*
	на ориентацию в %	на угловое помещение в %	на ориентацию и угловое помещение		на инфильтрацию $K_д$ в *ккал/м²·ч·град*	бытовое тепло $K_б$ в *ккал/м²·ч·град*	сумма инфильтрации и бытового тепла		
			в %	в *ккал/ч*			$K_д+K_б$, *ккал/м²* × *ч·град*	$(K_д+K_б)$ × $(t_в-t_н)$ × $F_о$, *ккал/ч*	
4870	8	—	8	390	—	—	—	—	5260
2220	8	—	8	178	0	—	—	—	2398
109	8	—	8	9	20	—	20	1360	1478
Σ 7199				Σ 577				Σ 1360	Σ9136

Пример 8. Рассчитать теплопотери тех же помещений, что и в примере 7, но в случае, когда приток превышает вытяжку на однократный объем.

Расчет сведен в табл. 20. Величина $K_д$ окон комнаты и лестничной клетки в этом случае равна нулю. Величина $K_д$ наружного входа принята по табл. 18 равной 20 *ккал/м² · ч · град.*

ГЛАВА VI

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ЗДАНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

Вопросы регулирования отпуска тепла в системах отопления подробно освещены в целом ряде работ [2, 9]. В них даны рекомендации по учету многих факторов, даже таких, которые в относительно малой степени влияют на работу системы при переменном режиме; например по учету изменения коэффициента теплопередачи отопительных приборов в зависимости от расхода воды, по учету изменения сопротивления трения в зависимости от скорости течения и кинематической вязкости воды и пр. В то же время изменение теплопотребления самих зданий предлагается определять упрощенным методом по уравнению

$$Q' = Q\frac{t_в - t'_н}{t_в - t_н}, \qquad (111)$$

где Q' и Q — количество отпускаемого тепла соответственно при данной и при расчетной отопительной температуре наружного воздуха в *ккал/ч*;

$t_в$ — температура воздуха внутри помещений;

$t_н$ — расчетная отопительная температура наружного воздуха;

$t'_н$ — данная переменная температура наружного воздуха.

Реальное теплопотребление большинства зданий, в том числе и жилых зданий повышенной этажности, не пропорционально температурному перепаду. Это объясняется тем, что в тепловой баланс жилого здания помимо теплопередачи через ограждения, описываемой этой зависимостью, входят значительные затраты тепла на подогрев инфильтрующегося воздуха, а также бытовые тепловыделения, не подчиняющиеся зависимости (111).

Приведенные в предыдущей главе данные позволяют более точно выявить теплопотребление жилых зданий повышенной этажности при изменении температуры наружного воздуха, что дает основание для составления более точного графика регулирования отпуска тепла. Кроме того, уточнению графика способствует детальный расчет переменной работы стояков отопления разных типов в зависимости от температуры подаваемой в них воды и ее расхода. Этот расчет позволяет, в частности, более детально учесть влияние гравитационного давления на работу систем отопления, что особенно существенно для переменного режима работы систем отопления зданий повышенной этажности.

1. ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

Зная составляющие теплового баланса зданий повышенной этажности (основные теплопотери, надбавки на инфильтрацию наружного воздуха, на ориентацию по странам света, на угловое помещение и количество бытового тепла), можно проанализировать характер изменения теплопотребления по этажам здания с изменением температуры наружного воздуха.

На рис. 31 приведены данные по теплопотреблению помещений *А* и *Б*, расположенных на разных этажах 16- и 9-этажных зданий, при температурах наружного воздуха $t_н = -5$, -15 и $-26°$ С (16-этажное здание типа «башня», 9-этажное здание секционное), а также данные об отпуске тепла для этих помещений по существующему графику. Заштрихованная область соответствует количеству тепла, которое должна возместить система отопления в 16-этажном здании. Рассмотрены два крайних случая возможного распределения теплопотерь: рис. 31, *а* — помещение *А* с максимальным значением коэффициента остекления ($\varphi = 42\%$), что соответствует средней (не угловой) комнате, имеющей окно и балконную дверь; в такой комнате надбавки на инфильтрацию наружного воздуха составляют наибольшую величину в тепловом балансе помещения; рис. 31, *б* — помеще-

ние *Б* с минимальным значением коэффициента остекления ($\varphi = 15\%$), что соответствует угловой комнате, имеющей одно окно. В этом случае надбавки на инфильтрацию составляют

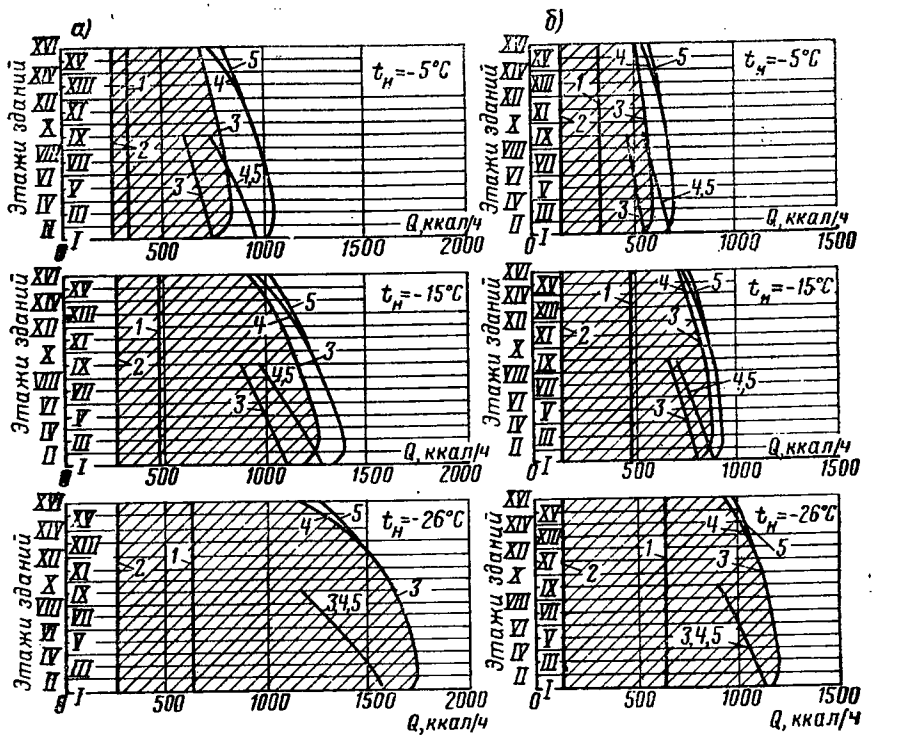


Рис. 31. Теплопотребление помещений при различных температурах наружного воздуха $t_н$

а — помещение *А*; *б* — помещение *Б*; *1* — основные теплопотери ограждений с учетом надбавок на угловое помещение и ориентацию ограждений по странам света; *2* — бытовые тепловыделения; *3* — общее теплопотребление помещений (сумма основных теплопотерь, надбавок на ориентацию, на угловое помещение и инфильтрацию); *4* — отпуск тепла при общепринятом графике регулирования в случае определения теплопотерь по величинам надбавок, соответствующих расчетной отопительной температуре (цифры в числителе табл. 15); *5* — то же, при определении теплопотерь по максимальному значению надбавок за отопительный период (цифры в знаменателе табл. 15)

наименьшую величину в тепловом балансе, а наибольшую величину составляют основные теплопотери. Характер распределения теплопотерь при рассмотренных вариантах помещений приведен в табл. 21.

Как видно из рис. 31, основные теплопотери с учетом надбавок на ориентацию и на угловое помещение (прямая *1*) изменяются прямо пропорционально разности температур внутреннего и наружного воздуха в соответствии с зависимостью (111), а бытовые тепловыделения (прямая *2*) не зависят от темпера-

Таблица 21

Характеристика помещений *А* и *Б*

Помещение	Теплопотери в *ккал/ч*		
	основные	добавочные	
		на орнентацию помещений	на угловое помещение
А	585	45	—
Б	555	43	27

туры наружного воздуха. Добавочные теплопотери на инфильтрацию определены по зависимости

$$Q_{\text{инф}} = K_{\text{д}}(t_{\text{н}} - t_{\text{в}}), \qquad (112)$$

где величина $K_{\text{д}}$ принималась переменной при различных температурах наружного воздуха по графикам, представленным на рис. 23, *б* и 29.

Анализируя приведенные данные, можно сделать следующие выводы: 1) для обоих помещений отпуск тепла по существующему графику приводит к перерасходу тепла при температурах наружного воздуха, превышающих расчетную отопительную; при этом этот перерасход больше для помещения *А*, чем для помещения *Б*, и для нижних этажей помещения *А*, чем для верхних его этажей; 2) расчет теплопотерь по максимальным значениям надбавок в отопительный период нецелесообразен, поскольку приводит к еще большему неоправданному перерасходу тепла при всех температурах наружного воздуха.

Приведенные в табл. 22 величины указывают на значительный перерасход тепла при регулировании отопительной системы пропорционально температурному перепаду, достигающий 44% при высоких наружных температурах. Следует отметить, что натурные данные, в частности практика эксплуатации жилых зданий Москвы, подтверждают это положение. При отпуске тепла в соответствии с существующим отопительным графиком повышение температуры наружного воздуха в отопительный период сопровождается, как правило, перегревом помещений. Имея в виду, что решение вопроса о приведении регулировочного графика системы отопления в соответствие с действительным теплопотреблением здания позволит сэкономить значительное количество тепла (порядка 20% в целом за отопительный период), мы считаем целесообразным детальное его рассмотрение на примере режима работы стояков системы отопления 16-этажного здания. С этой целью проведено исследование переменного режима их работы, т. е. расчет теплоотдачи системы во всех этажах при переменных величинах начальной температуры и расхода воды, поступающей в стояк. Такой расчет выполнен

с помощью электронной вычислительной машины «Урал-3» по алгоритму и программам, разработанным в НИИ санитарной техники.

Таблица 22

Величины перерасхода тепла для рассматриваемых помещений

Помещение	Способ выбора надбавок	Этажность здания					
		16			9		
		перерасход тепла в % при $t_н$ в °С					
		—26	—15	—5	—26	—15	—5
А	При расчетной отопительной температуре	0	9,6	31	0	19	44
	Максимальное значение за отопительный период	1,2	11	32,5	0	19	44
Б	При расчетной отопительной температуре	0	6,7	20,3	0	9	32
	Максимальное значение за отопительный период	0,6	7,5	21,3	0	9	32

2. РЕЖИМ РАБОТЫ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ КАЧЕСТВЕННОМ РЕГУЛИРОВАНИИ

Известно, что центральное качественное регулирование системы осуществляется путем изменения температуры подаваемой воды при постоянной величине перепада давления в подающем и обратном трубопроводах узла управления системы.

В данном пункте приводится определение необходимого отпуска тепла для однотрубной системы с нижней подачей воды при центральном качественном регулировании с учетом реального теплопотребления здания на основе исследования потокораспределения в этажестояках системы.

На рис. 32 в качестве примера расчета потокораспределения в стояках представлено поле работы стояка однотрубной системы с нижней подачей воды, предназначенного для отопления помещений *А* 16-этажного здания (см. рис. 31). Поле рассчитано для температур 50, 60, 70, 80, 90, 103° С и расходов воды в стояке 500—1000 *кг/ч* с интервалом 100 *кг/ч*.

На рис. 33 приведена зависимость температуры обратной воды $t_к$ от температуры горячей воды t_0, поступающей в стояк, и расхода воды в стояке G.

Для исследования теплоотдачи приборов, расположенных на стояке, при центральном качественном регулировании системы необходимо прежде всего установить возможное изменение количества подаваемой в стояк воды при изменении ее началь-

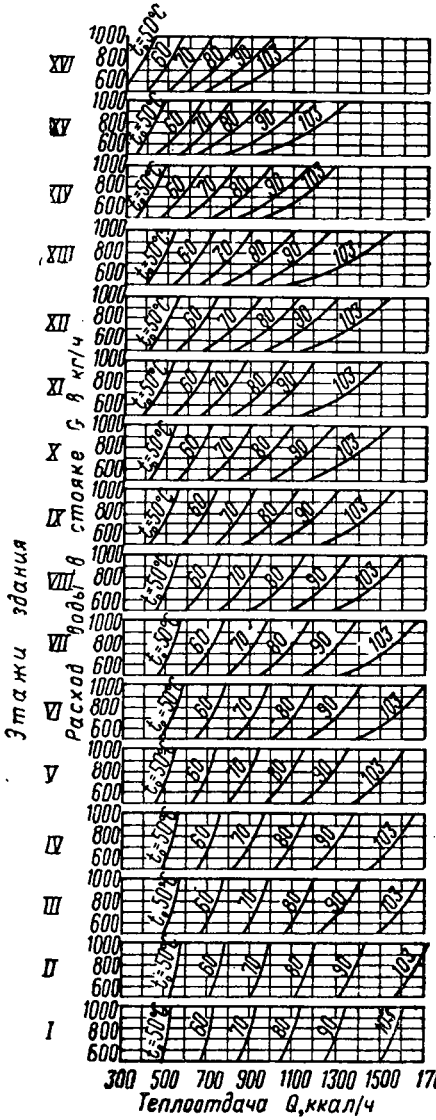


Рис. 32. Поле работы стояка, обслуживающего помещения A (диаметр стояка 25 *мм*; эквивалентная поверхность радиаторов в *экм* по этажам:
I—2,4; II—V—2,6; VI—XI—3;
XII—XIII—3,3; XIV—XV—3;
XVI — 2,7)

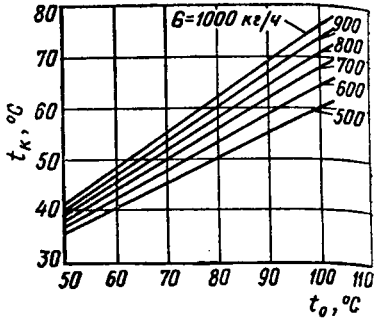


Рис. 33. Зависимость температуры обратной воды $t_к$ от начальной температуры t_0 и расхода воды в стояке G

ной температуры. Известно, что такое изменение происходит в основном вследствие изменения величин гравитационного давления в кольцах циркуляции системы и кинематической вязкости воды.

Для определения циркуляционного давления системы с нижней подачей воды воспользуемся зависимостью

$$p_{ц.сист} = \Delta p_{гид.от.ст} + \Delta p_{грав.от.ст} + \\ + \Delta p_{гид.сист} - \Delta p_{грав.обр.} \qquad (113)$$

Гидравлические и гравитационные потери в отопительном стояке $\Delta p_{\text{гид.от.ст}}$ и $\Delta p_{\text{грав.от.ст}}$ определяем в процессе его расчета на ЭВМ.

Гидравлические потери давления в подающих и обратных магистральных трубопроводах $\Delta p_{\text{гид.сист}}$ обычно не превышают 15% общего циркуляционного давления. Гравитационное давление в обратном стояке $\Delta p_{\text{грав.обр}}$ определяется по зависимости

$$\Delta p_{\text{грав.обр}} = \gamma_{\text{ср.обр}} h_{\text{ст}}, \qquad (114)$$

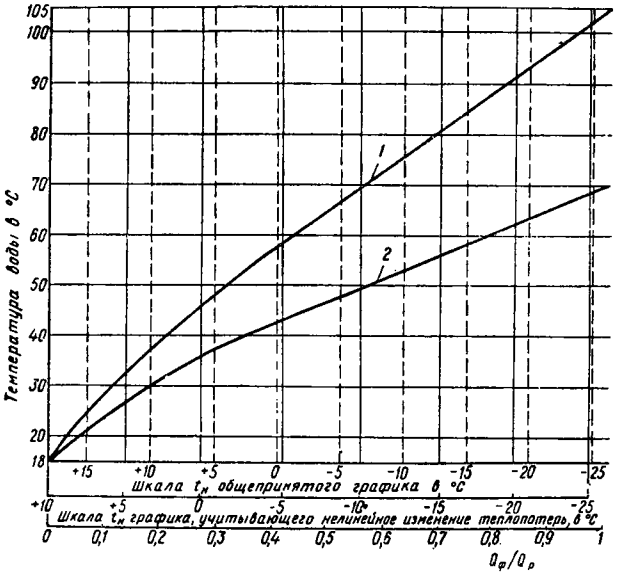


Рис. 34. Эксплуатационный отопительный график центрального качественного регулирования системы

1 — температура горячей воды; *2* — температура обратной воды

где $\gamma_{\text{ср.обр}}$ — средний удельный вес воды, проходящей по стояку;

$h_{\text{ст}}$ — высота стояка в *м*.

Величину $\gamma_{\text{ср.обр}}$ для системы можно получить, пользуясь эксплуатационным отопительным графиком. Такой график для расчетной отопительной температуры горячей воды 105° С и обратной воды 70° С приведен на рис. 34.

Исходя из уравнения (113) можно получить зависимость для определения циркуляционного давления, расходуемого в отопительном стояке $p_{\text{ц.ст}}$:

$$p_{\text{ц.ст}} = p_{\text{ц.сист}} - \Delta p_{\text{гид.сист}} = \Delta p_{\text{гид.от.ст}} + \\ + \Delta p_{\text{грав.от.ст}} - \Delta p_{\text{грав.обр}}. \qquad (115)$$

Разность $\Delta p_{\text{грав.от.ст}} - \Delta p_{\text{грав.обр}}$ представляет собой гравитационное (естественное) давление циркуляционного кольца $p_{\text{грав}}$.

На рис. 35 представлены графически величины всех составляющих зависимости (115) для отопительного стояка, поле работы которого изображено на рис. 32. Пользуясь этим графиком, легко определить возможное изменение расходов воды в стояке с изменением циркуляционного давления и температуры подаваемой в него воды.

Изменение расходов воды, вызывающее разрегулировку системы, зависит от большого числа факторов,

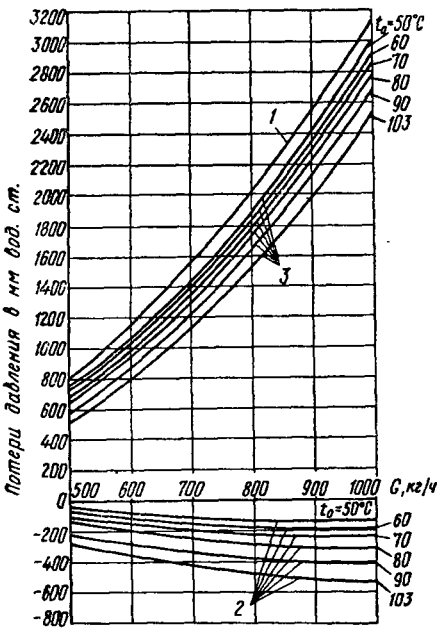


Рис. 35. Зависимость потерь давления в стояке от расхода G и температуры горячей воды t_0

1 — гидравлические потери $\Delta p_{\text{гид.от.ст}}$; *2* — гравитационные потери $\Delta p_{\text{грав.от.ст}} - \Delta p_{\text{грав.обр}}$; *3* — суммарные потери давления $\Delta p_{\text{ц.ст}}$

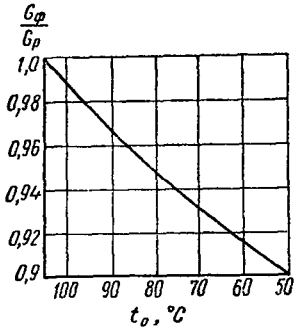


Рис. 36. Относительное изменение расхода с изменением температуры горячей воды

характеризующих систему. Так, с увеличением циркуляционного давления влияние температуры подаваемой воды на ее расход уменьшается, с уменьшением циркуляционного давления — увеличивается. Величина расходов воды в расчетных условиях также влияет на разрегулировку системы, поскольку при прочих равных условиях уменьшение расхода приводит к относительно большему изменению его величины в процессе качественного регулирования.

С увеличением температурного перепада в стояке (при одинаковом расходе и циркуляционном давлении) относительное изменение расхода при изменении температуры подаваемой воды уменьшается. Исследования показали, что для расчетного температурного перепада 105—70° С и циркуляционного давле-

ния в системе порядка 1500 *мм вод. ст.* в стояках диаметром 15—25 *мм* изменение расхода воды с изменением температуры подаваемой воды примерно определяется кривой, приведенной на рис. 36.

Используя эту зависимость, а также полученные поля работы стояков, мы можем построить кривые теплоотдачи по эта-

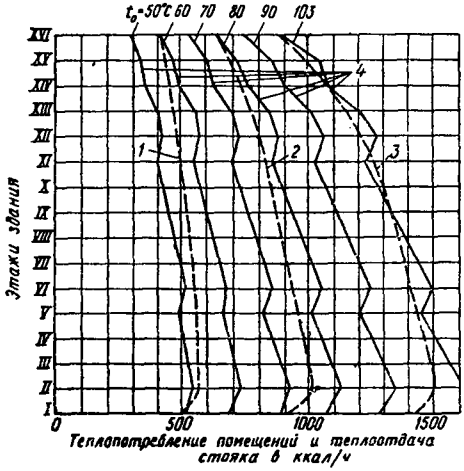


Рис. 37. Теплопотребление помещений *А* и теплоотдача обогревающего их стояка по этажам

1 — теплопотребление при $t_н$=—5° С; *2* — то же, при $t_н$=—15° С; *3* — то же, при $t_н$=—26° С; *4* — теплоотдача стояка отопления по этажам при различной температуре горячей воды t_0

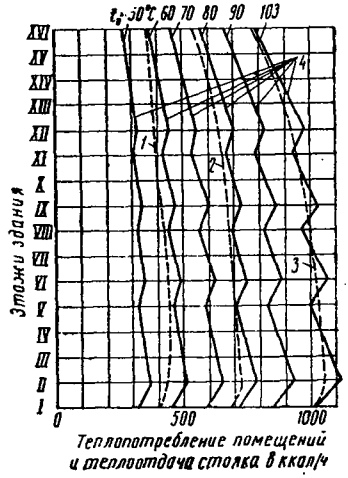


Рис. 38. Теплопотребление помещений *Б* и теплоотдача обогревающего стояка по этажам

1 — теплопотребление при $t_н$=—5° С; *2* — то же, при $t_н$=—15° С; *3* — то же, при $t_н$=—26° С; *4* — теплоотдача стояка отопления по этажам при различной температуре горячей воды t_0

жам для любых расходов и температур воды, поступающей в стояки. Подобные кривые для стояков, обслуживающих помещения *А* и *Б*, теплоотдача которых определена расчетом, даны на рис. 37 и 38. Расходы воды в этих стояках приняты исходя из расчетного циркуляционного давления в системе 1500 *мм вод. ст.* с учетом изменения расходов в зависимости от температуры подаваемой в стояк воды.

Сопоставим данные по теплоотдаче этих стояков с теплопотреблением отапливаемых помещений при разных температурах наружного воздуха. С этой целью нанесем на графики рис. 37 и 38 соответствующие кривые теплопотребления помещений при температурах наружного воздуха —26, —15 и —5° С.

Рассматривая полученные графики, легко установить температуру подаваемой в стояк воды, которая обеспечивает теплопотребление помещений при $t_и$=—15 и —5° С. Так, для поме-

щения A такими температурами являются: $t_0=78°$ С при $t_н=$ $=-15°$ С и $t_0=58°$ С при $t_н=-5°$ С. Считая, что вода в системе до ее поступления в стояк остывает на 1 *град* при $t_н=-5°$ С, на 1,5 *град* при $t_н=-15°$ С и на 2 *град* при $t_н=-26°$ С, мы можем сказать, что расчетное теплопотребление помещения A обеспечивают следующие температуры горячей воды в системе: 79,5° С при $t_н=-15°$ С, 59° С при $t_н=-5°$ С и 105° С при $t_н=-26°$ С.

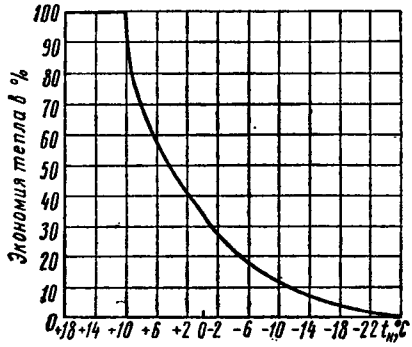


Рис. 39. Экономия тепла при различной температуре наружного воздуха $t_н$ в случае регулирования системы по предлагаемому графику

Расчеты показывают, что бытовые тепловыделения возмещают потери тепла помещением при температуре наружного воздуха +10° С и выше. Имея в виду эти данные, а также подобные данные для ряда других помещений и обогревающих их однотрубных стояков как с нижней, так и с верхней подачей воды, мы можем нанести на график регулирования, представленный на рис. 34, шкалу температур наружного воздуха, отвечающую действительному теплопотреблению помещения, и, следовательно, получить другой, более экономичный график качественного регулирования.

Экономия по расходу тепла при его отпуске в соответствии с рекомендуемым графиком характеризуется данными, представленными на рис. 39.

Произведем подсчет экономии тепла за отопительный сезон для Москвы при пользовании предлагаемым графиком. Для этого определим экономию расхода тепла по месяцам и выведем экономию тепла за отопительный период с учетом отношения $\frac{Q_ф}{Q_р}$, соответствующего средней наружной температуре каждого месяца. Данные этого расчета представлены в табл. 23. По результатам этого расчета видно, что годовая экономия тепла для Москвы при пользовании предлагаемым эксплуатационным графиком составит:

$$q_{ф.год}=\frac{78{,}2}{3{,}489}=22{,}5\%.$$

Следует заметить, что даже пользуясь этим новым графиком, мы будем иметь некоторый перегрев в нижних этажах зданий при относительно высоких температурах наружного воздуха, особенно в помещениях с большим коэффициентом остекления (типа помещения A). Это видно, например, из рассмотрения графика на рис. 37. При определении необходимой температуры горячей воды в системе для помещения A при $t_и=-15$ и $-5°$ С принята ориентация на теплопотребление верхних эта-

Таблица 23

Расчет экономии расхода тепла для Москвы

Месяц отопительного сезона	Средняя температура наружного воздуха $t_{ср}$ в °С по СНиП II-А. 6-62	Сэкономленное тепло в % к расходу тепла, предусмотренному существующим графиком при $t_{ср}$, принимаемое по рис. 39, $q_ф = \frac{Q_{эк}}{Q_ф} 100$	Отношение расхода тепла при $t_{ср}$ к расходу тепла при расчетной температуре, $\frac{Q_ф}{Q_р}$	Сэкономленное тепло в % к расходу тепла при расчетной температуре, $q_р = \frac{Q_{эк}}{Q_р} 100$
Октябрь	4,1	49	0,316	15,5
Ноябрь	—2,3	26	0,462	12
Декабрь	—8	18	0,59	10,6
Январь	—10,3	11	0,643	7,1
Февраль	—9,7	12	0,63	7,5
Март	—5	20	0,523	10,5
Апрель	3,7	46	0,325	15
			Σ 3,489	Σ 78,2

жей, поскольку для обеспечения их теплом требуется несколько более высокая температура горячей воды, чем это необходимо для нижних этажей. При этом получается перерасход тепла на 9% при $t_н$=—5° С и на 4% при $t_н$=—15° С. Для помещений с малым коэффициентом остекления этот перерасход значительно меньше (порядка 1—2%).

Очевидно, мы могли бы несколько снизить этот перерасход тепла, подсчитывая теплопотери не при надбавках, соответствующих расчетной отопительной температуре наружного воздуха, а при максимальном значении их за отопительный период. Это дало бы возможность несколько снизить температуру подаваемой воды для $t_н$=—15 и —5° С и соответственно уменьшить перерасход тепла. Однако при этом мы были бы вынуждены отказаться от экономии нагревательных приборов. Аналогичный результат мы получили бы, принимая в расчет половину гравитационного давления, как это рекомендуют СН 228—62, а не полную его величину, как это предусматривают наши расчеты.

Учитывая дефицит нагревательных приборов и относительно небольшие величины перерасхода тепла, следует считать целесообразным для зданий высотой 9—16 этажей при определении теплопотерь учитывать надбавки, соответствующие расчетной отопительной температуре, а при расчете однотрубных систем отопления учитывать полную величину гравитационного давления.

Выполнение этих рекомендаций, а также предлагаемое изменение графика отпуска тепла дадут экономию поверхности нагревательных приборов в 16-этажных зданиях порядка 2—3% и экономию расхода тепла порядка 20%.

Приложение 1

Значения коэффициента воздухопроницаемости i для основных типов окон

Типы деревянных переплетов	Количество уплотненных переплетов	i в $м^3/м^2 \cdot ч \cdot мм$ вод.ст. при притворах переплетов окон			
		без уплотнения	с уплотнением прокладками		
			из полушерстяного шнура	из губчатой резины	из пенополиуретана
Одинарные и спаренные	Один (внутренний)	23	6,6	5,1	4,5
Двойные раздельные и тройные (одинарный+спаренные)	Один (внутренний)	14,8	6,2	4,5	4,1
	Два	14,8	4,4	3,3	2,9
Тройные раздельные	Один (внутренний)	10	5,6	4,4	3,9
	Два (внутренних)	10	4	3,1	2,7
	Три	10	3	2,2	2

Примечания: 1. Для балконных дверей приведенные данные следует увеличивать на 25%.

2. Для окон с металлическими переплетами приведенные данные следует уменьшать на 20%.

3. При раздельных переплетах без наплава и без уплотнения притворов в случае оклейки их бумагой значения i принимают как при уплотнении притворов прокладками из губчатой резины.

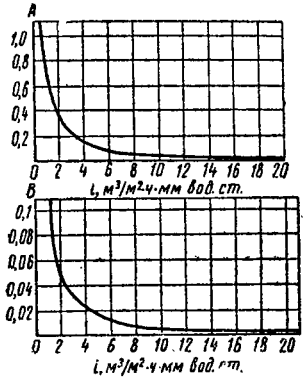
Приложение 2

Значения максимально допускаемого коэффициента воздухопроницаемости окон $i_д$ при оборудовании 5—14-этажных зданий системами естественной вытяжной вентиляции (без организованного притока воздуха)

Этажи сверху	$i_д$ в $м^3/м^2 \cdot ч \cdot мм$ вод. ст. при расчетной отопительной температуре наружного воздуха			
	до —15° С	от —16° С до —30° С	от —31° С до —45° С	от —46° С и ниже
1—5	13,3	7;9	5,8	4,1
6—9	10,7	6,2	4,1	2,9
10—14	8,2	4,6	2,9	2

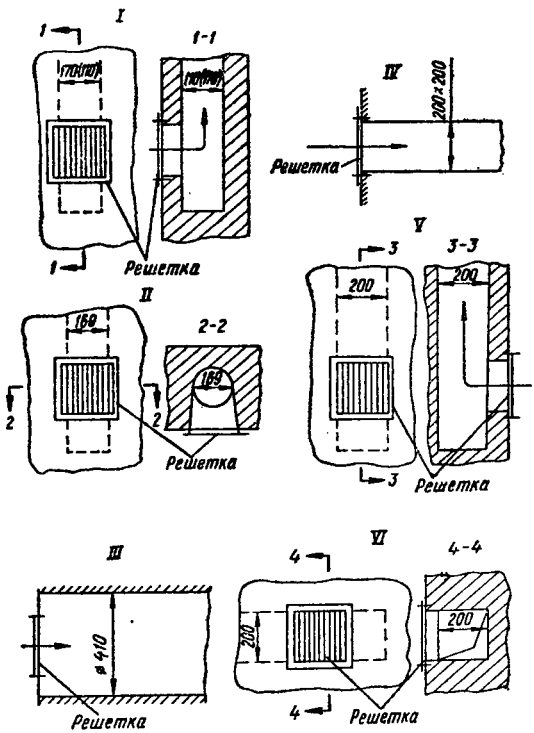
Примечание. При расчетной зимней скорости ветра $v_в$ более 5 *м/сек* $i_д$ уменьшается в следующих размерах: на 15% при $v_в = 5{,}1 \div 7$ *м/сек*, на 30% при $v_в = 7{,}1 \div 9$ *м/сек*, на 40% при $v_в > 9$ *м/сек*.

Зависимость коэффициентов A и B от коэффициента воздухопроницаемости окон i (по экспериментальным данным)

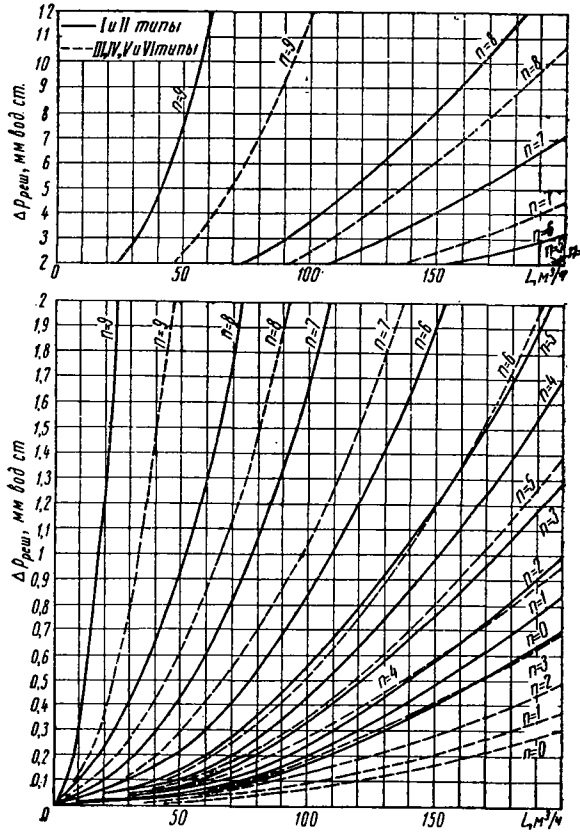


Примечание. При $i=33$ *м³/м² · ч · мм вод. ст.* величина $A=0{,}0104$, $B=0{,}0005$; при $i=1{,}1$ *м³/м² · ч · мм вод. ст.* величина $B=0{,}204$.

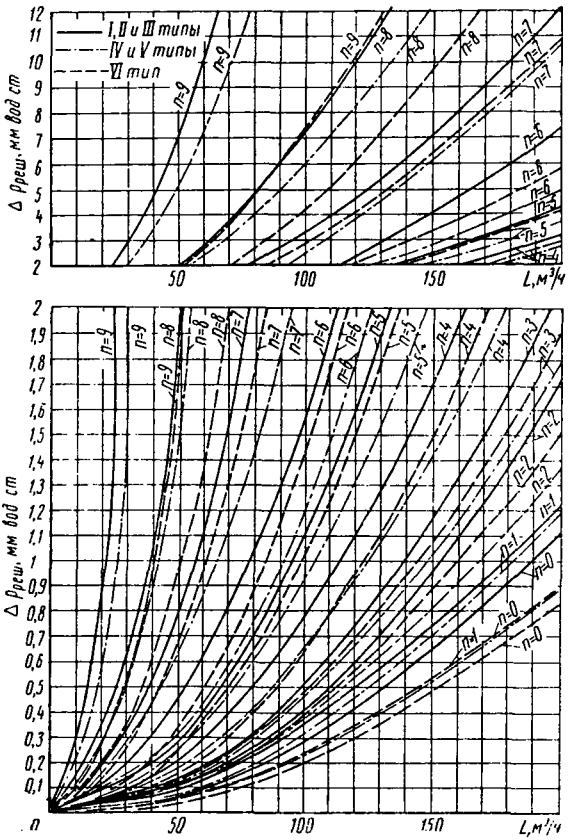
Типы входа воздуха в канал



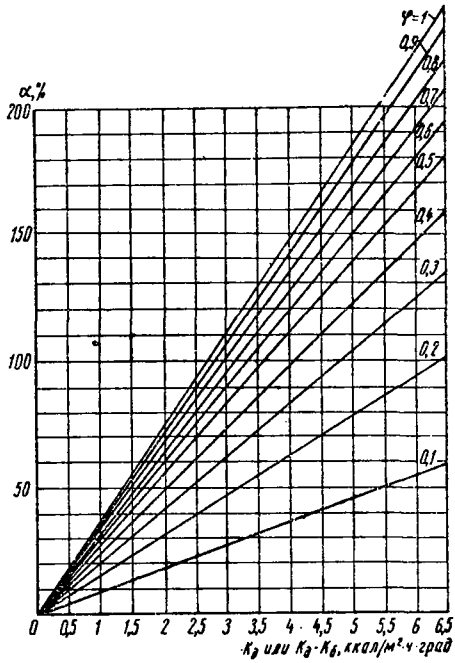
Характеристики вытяжных жалюзийных решеток 200×200 *мм* при разном числе полос *n* вкладышей и разных типах входа воздуха (по данным НИИ санитарной техники)



Характеристики вытяжных жалюзийных решеток 120×200 *мм* при разном числе полос *n* вкладышей и разных типах входа воздуха (по данным НИИ санитарной техники)



Зависимость надбавок на инфильтрацию α в процентах к основным теплопотерям от величин $K_д$ или $K_д - K_б$ при $K_{ст} = 0{,}9$ *ккал/м² · ч · град* и $K_0 = 2{,}7$ *ккал/м² · ч · град* и различных значениях коэффициента остекления φ



ЛИТЕРАТУРА

1. Батурин В. В., Эльтерман В. М. Аэрация промышленных зданий. Госстройиздат, 1963.

2. Белинкий Е. А. Рациональные системы водяного отопления. Госстройиздат, 1963.

3. Богословский В. Н. Тепловой режим гражданских зданий. Материалы совещания «Тепловой режим жилых и общественных зданий из крупноразмерных элементов». Госстройиздат, 1964.

4. Васильев Б. Ф. Натурные исследования температурно-влажностного режима жилых зданий. Госстройиздат, 1957.

5. Временные указания по проектированию улучшенных систем вентиляции жилых зданий. Госстройиздат, 1962.

6. Гамбург П. Ю. Таблицы и примеры для расчета трубопроводов отопления и горячего водоснабжения. Госстройиздат, 1953.

7. Дюскин В. К. Тепловой и гидравлический режим систем водяного отопления. Изд-во МКХ РСФСР, 1950.

8. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Госэнергоиздат, 1960.

9. Каменев П. Н. Отопление и вентиляция, ч. I и II. Стройиздат, 1965.

10. Константинова В. Е. Экспериментальные исследования воздушной среды жилых газифицированных квартир, оборудованных опытными системами вентиляции. Сб. трудов НИИСТ, № 7. Госстройиздат, 1961.

11. Константинова В. Е. Расчет воздухообмена в зданиях методом гидравлической аналогии. «Водоснабжение и санитарная техника», 1961, № 11.

12. Константинова В. Е. Обоснование «Временных указаний на проектирование улучшенных систем вентиляции жилых зданий» Сб. трудов НИИСТ. № 13, 1962.

13. Константинова В. Е. Воздухообмен в жилых и общественных зданиях и его влияние на тепловой режим. Материалы совещания «Тепловой режим жилых и общественных зданий из крупноразмерных элементов». Госстройиздат, 1964.

14. Константинова В. Е. Расчет воздухообмена в жилых и общественных зданиях. Стройиздат, 1964.

15. Константинова В. Е. Воздухообмен и добавочные теплопотери в жилых зданиях повышенной этажности. «Водоснабжение и санитарная техника», 1965, № 2.

16. Константинова В. Е., Светлов К. С. Исследование систем естественной вытяжной вентиляции в многоэтажных зданиях. «Водоснабжение и санитарная техника», 1965, № 6.

17. Константинова В. Е. Расчет систем водяного отопления методами математического моделирования. Сб. трудов НИИСТ, № 23. Стройиздат, 1967.

18. Константинова В. Е., Сумбатьянц Т. Л., Светлов К. С. Исследование воздухообмена 25-этажного жилого дома на проспекте Калинина. Сб. трудов НИИСТ, № 23. Стройиздат, 1967.

19. Константинова В. Е. Использование электроаналоговой установки ЭМВС-6 для расчета воздухообмена и систем отопления зданий. «Водоснабжение и санитарная техника», 1968, № 3.

20. Ливчак И. Ф. Вентиляция многоэтажных жилых домов. Госстройиздат, 1951.

21. Ливчак И. Ф. Исследование степени загрязненности воздуха в жилых и общественных зданиях в связи с изменением объема помещений. Сб. трудов НИИСТ, № 3. Госстройиздат, 1959.
22. Ливчак И. Ф., Константинова В. Е. Индустриальные элементы вентиляционных систем жилых зданий. Госстройиздат, 1957.
23. Ливчак И. Ф., Сладков С. П., Константинова В. Е. Улучшение состояния воздушной среды в газифицированных квартирах. Изв. АСиА СССР, № 2, 1962.
24. Максимов Г. А. Отопление и вентиляция, ч. II. Госстройиздат, 1954.
25. Ольхова О. П., Маклакова Т. Г. и др. Жилые дома повышенной этажностн. Стройиздат, 1967.
26. Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха. Справочное руководство. Сокращенный пер. с англ. Госстройиздат, 1963.
27. Офицеров Л. Ф. Однотрубные системы водяного отопления. Госстройиздат, 1960.
28. Разумов Н. Н. Определение воздухообменов в зданиях графоаналитическим методом. «Водоснабжение и санитарная техника», 1963, № 12.
29. Реттер Э. И. Аэродинамическая характеристика промышленных зданий. Челябинск, 1959.
30. Реттер Э. И., Серебровский Ф. Л. Аэродинамическая характеристика жилых зданий. «Водоснабжение и санитарная техника», 1967, № 2.
31. Светлов К. С. О применении ЭЦВМ для расчета воздухообмена жилых зданий. В сб.: «Методы математического моделирования в энергетике». Восточно-Сибирское книжное издательство, 1966.
32. Семенова Е. И. О проекте технических указаний по уплотнению оконных проемов жилых и общественных зданий. В сб.: «Исследования по микроклимату жилища и строительной теплофизике», НИИ жилища. Госстройиздат, 1960.
33. Сканави А. Н. Зимние климатические условия Москвы для расчета систем отопления здания. Сб. трудов МИСИ, № 21, изд. МИСИ им. В. В. Куйбышева, 1957.
34. Титов В. П. Расчет теплопотерь с учетом инфильтрации воздуха через наружные ограждения. Материалы совещания «Тепловой режим жилых и общественных зданий из крупноразмерных элементов». Госстройиздат, 1964.
35. Требуков С. П. Системы квартирного воздушного отопления, совмещенные с приточной вентиляцией. «Водоснабжение и санитарная техника», 1963, № 3.
36. Указания по расчету вертикальных однотрубных систем водяного отопления с нижней разводкой трубопроводов горячей и обратной воды (СН 228—62). Госстройиздат, 1962.
37. Шамциян Г. Г., Поликарпов В. С. Коэффициенты местных сопротивлений вытяжных вентиляционных решеток. «Водоснабжение и санитарная техника», 1968, № 4.
38. Шкловер А. М., Васильев Б. Ф., Ушков Ф. В. Основы строительной теплотехники жилых и общественных зданий. Госстройиздат, 1956.
39. Becher P., Evensen L. Boligventilation Statens Byggeforskningsinstitut. SBJ — Rapport 44. Kibenhavn, 1961.
40. Bertalan Nagy. Tájékoztató nyilászaró szerkezetek légáteresztése. Budapest, 1964.
41. Gunst Van. Heat raam in onze woning in verband met gezondheid en economie. «De Ingenieur», no 11 en 14, 1959.
42. Kozierski Jozef i Werzbicki Zenon. Prędkość wiatzów w miastach Polski oraz znaczenie wietrzności dla izolacyjności i przewietrzania budynków. Ministerstwo szkolnictwa wyzszego. Seria zagadniena fizikalne w architekturze i budownictwie Zesryt 3. Warszawa, 1964.
43. Raiss W. Research on heating installationg in tall blocks. The Journal J. H. V. E., vol. 34, 1966, June.
44. Sturm William. Vertical Air Distribution in Tall Buildings. Heating Piping and Air Conditioning, 1947, June, September.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие ... 3

Глава I. **Натурные исследования воздухообмена в зданиях** ... 5

1. Методика исследований ... 5
2. Результаты исследований ... 7

Глава II. **Основные закономерности движения воздуха в зданиях повышенной этажности и их математическое выражение** ... 15

1. Схема аэродинамической сети здания ... 15
2. Характеристики участков схемы ... 20
3. Расчет и размещение в схеме источников давлений и расходов ... 23
4. Основные методы расчета ... 54
5. Сопоставление результатов расчета с данными натурных исследований ... 55

Глава III. **Конструктивно-планировочные решения, обеспечивающие рациональный воздухообмен в зданиях** ... 57

Глава IV. **Работа систем вентиляции** ... 64

1. Требования, предъявляемые к системам вентиляции ... 64
2. Расчет располагаемого давления для систем вентиляции ... 67
3. Системы естественной вытяжной вентиляции ... 74
4. Системы механической вытяжной вентиляции ... 83
5. Системы приточной вентиляции ... 85

Глава V. **Инфильтрация наружного воздуха** ... 88

1. Основные факторы, влияющие на инфильтрацию наружного воздуха 88
2. Методика определения надбавок к теплопотерям на инфильтрацию наружного воздуха ... 100
3. Надбавки к теплопотерям на инфильтрацию наружного воздуха 105

Глава VI. **Тепловой режим здания и регулирование систем отопления** .. 117

1. Теплопотребление жилых зданий при различной температуре наружного воздуха ... 118
2. Режим работы водяного отопления при центральном качественном регулировании ... 121

Приложения ... 128
Литература ... 133

Министерство промышленности
строительных материалов СССР

Научно-исследовательский институт
санитарной техники

Константинова Валентина Евгеньевна

ВОЗДУШНО-ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ

* * *

Стройиздат
Москва, К-31, Кузнецкий мост, д. 9

* * *

Редактор издательства М. А. Шершукова
Технический редактор З. С. Мочалина
Корректоры А. М. Введенская, С. Г. Левашова

Сдано в набор 10/VI 1968 г. Подписано к печати 12/IX 1968 г.
Т-12956. Бумага 60×90¹/₁₆ —4,25 бум. л. 8,5 печ. л. (уч.-изд. 9,2 л.)
Тираж 4.500 экз. Изд. № И-VIII-1704. Зак. № 702. Цена 64 коп.

Владимирская типография Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б