

**ОТ РЕДАКЦИИ**

*Представляем вашему вниманию продолжение темы проектирования систем естественной вентиляции. Первая статья «О проектировании систем естественной вентиляции жилых зданий с организованным притоком воздуха» была опубликована в журнале «Проектирование и строительство в Сибири» №3 (45) за 2008 год.*

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ СБОРНЫМИ КАНАЛАМИ

Сложившаяся практика проектирования систем естественной вентиляции многоэтажных жилых зданий предусматривает применение, как правило, вытяжных систем с вертикальными сборными каналами, состоящих из магистрального канала и каналов-спутников, присоединяемых к магистральному каналу через этаж, реже через два или три этажа.

Не секрет, что на стадии эксплуатации подобного рода систем, достаточно часто отмечается нарушение их работы. В частности:

- уменьшение воздухообмена и, соответственно, ухудшение качества воздуха в квартирах верхних этажей, в том числе повышение относительной влажности со всеми вытекающими последствиями (рис.1 а);

- «опрокидывание» направления движения воздуха в каналах-спутниках с его перетеканием из сборного канала в помещения той или иной квартиры;

- «опрокидывание» потока воздуха отдельных сборных каналов в целом (совместно с каналами-спутниками) и поступление наружного холодного воздуха по вентиляционным каналам в помещения (рис.1 б).

Одна из основных причин — отсутствие организованного притока воздуха — о чем говорилось в одном из предыдущих номеров журнала. Но налицо и явные ошибки проектирования, обусловленные, прежде всего, издержками применяемых методик аэродинамического расчета вентиляционных систем.

Надо отметить, что большинство из перечисленных проблем не являются принципиально новыми. О тех или иных аспектах нарушения проектных режимов работы систем естественной вентиляции, необходимости повышения их надежности писалось и в 60-х, и в 70-х и в 90-х годах [1, 2, 3, 4, 5].

Можно сказать, что вся история развития систем естественной вентиляции пронизана анализом

подобных ситуаций, попытками их моделирования, например, с применением гидроинтеграторов или компьютерных программ, поиском технических решений, направленных на повышение надежности систем.

Современное состояние дел в этой области характеризуется следующими особенностями:

- применением светопрозрачных конструкций и входных дверей в квартиры с большим сопротивлением воздухопроницанию (причем, как при новом строительстве, так и ремонте отдельных квартир);

- проектированием систем естественной вентиляции жилых зданий без устройств для организованного притока воздуха (со ссылкой на СНиП 31-01-2003 о возможности обеспечения притока воздуха «...через регулируемые оконные створки, фрамуги, форточки...»), либо с установкой каких-



**Рис.1. Последствия нарушения работы систем естественной вентиляции жилых зданий:**  
**а) выпадение конденсата в углах наружных стен вследствие высокой влажности воздуха;**  
**б) обмерзание вентиляционных блоков вследствие опрокидывания движения воздуха**

либо приточных клапанов без их увязки с вытяжными каналами;

- недостаточностью (а по ряду показателей и отсутствием) информации по эксплуатационным характеристикам приточных вентиляционных устройств;

- отсутствием инженерных методик аэродинамического расчета систем естественной вентиляции с учетом совместной работы отдельных каналов (вытяжных систем) и приточных устройств (приточных систем).

В данной статье сделана попытка на основании анализа ряда частных случаев — результатов расчета систем естественной вентиляции, выполненных с применением компьютерной программы моделирования воздушного режима зданий «S-VENT V1.0», продемонстрировать последствия тех или иных решений, выявить характерные ошибки и некоторые общие принципы проектирования систем вентиляции с вертикальными сборными каналами.

Программа «S-VENT V1.0» разработана специально для аэродинамического расчета систем естественной вентиляции зданий. В ее основу положены известные подходы [3,4], базирующиеся на представлении здания с его помещениями, ограждающими конструкциями, вытяжными каналами и приточными устройствами в виде аэродинамической сети сложной геометрической формы.

Узлами сети являются отдельные помещения, а также точки слияния и деления потоков воздушной среды, участками (связями) — ограждающие конструкции, вентиляционные каналы, приточные устройства и т.п., характеризующиеся определенным сопротивлением перемещению воздуха.

К узлам, под воздействием перепада давлений, может подходить и уходить определенное количество воздуха.

Движение воздуха по рассматриваемой сети описывается уравнениями вида [4]

$$P_{k,i} \pm P_{m,i} = S_i \cdot G_i^n, \quad (1)$$

где  $P_{k,i}$ ,  $P_{m,i}$  — давление в отдельных помещениях (узлах), Па;  $G_i$  — массовый расход воздуха по  $i$ -му участку сети между узлами  $k$  и  $m$ , кг/ч;  $S_i$  — характеристика сопротивления  $i$ -ого участка сети, м<sup>2</sup> Па/кг;  $n$  — показатель фильтрации.

Если конструкция непосредственно граничит с наружным воздухом, то в уравнении (1) фигурирует давление наружного воздуха на уровне данной конструкции  $P_{ext,i}$  и давление в рассчитываемом помещении  $P_{m,i}$

$$P_{ext,i} \pm P_{m,i} = S_i \cdot G_i^n, \quad (2)$$

Число уравнений типа (1) и (2) определяется по расчетной схеме системы вентиляции здания и равно общему количеству связей, сходящихся в узлах.

Знак «+» в правой части уравнения означает, что воздух уходит из узла, а знак «-» — приходит.

Наружное давление  $P_{ext,i}$  определяется гравитационной  $P_{g,i}$  и ветровой  $P_{v,i}$  составляющими

$$P_{ext,i} = P_{g,i} + P_{v,i} \quad (3)$$

$$P_{g,i} = h_i \cdot g \cdot (\rho_{ext} - \rho_{int}); \quad (4)$$

$$P_{v,i} = k_i \cdot (v_{ext}^2 / 2) \cdot \rho_{ext}, \quad (5)$$

где  $h_i$  — вертикальное расстояние от уровня условного нуля до центра рассматриваемой конструкции, м (для удобства расчетов за условный нуль принята отметка самой высокой вентиляционной шахты);  $g$  — ускорение свободного падения, м<sup>2</sup>/с;  $\rho_{ext}$  и  $\rho_{int}$  — соответственно плотность наружного и внутреннего воздуха, кг/м<sup>3</sup>; где  $k$  — аэродинамический коэффициент здания (для наветренной и заветренной сторон);  $v_{ext}$  — расчетная скорость ветра с учетом изменения по высоте, м/с.

В конечном счете, воздушный режим любого здания описывается системой  $n$  — нелинейных уравнений, составленных по пространственной схеме системы вентиляции.

Критерий сходимости — равенство расходов воздуха по притоку и вытяжке.

При наличии приточных вентиляционных устройств расход воздуха через них учитывается характеристикой сопротивления  $S_v$ , определяемой по результатам испытаний (рис. 2).

#### ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОГО ВОЗДУХООБМЕНА ПРИ ЗАКРЫТЫХ ОКНАХ

Рассмотрим простейший случай — верхний этаж двенадцатиэтажного жилого дома с самостоятельными вытяжными каналами (рис.3). Казалось бы, при данном техническом решении проблем с вентиляцией в принципе быть не должно, поскольку вытяжные каналы квартиры не сообщаются с каналами других этажей.

Традиционная методика аэродинамического расчета такой системы вентиляции предусматривает увязку потерь давления на трение и местные сопротивления в канале — с располагаемым дав-

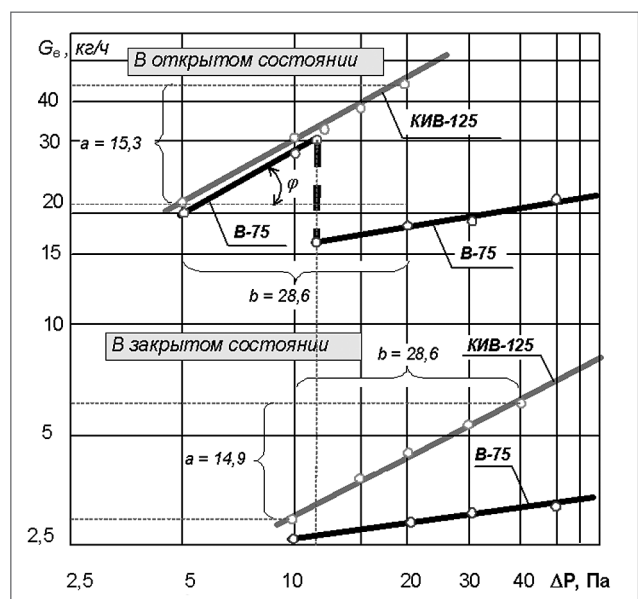


Рис. 2. Расход воздуха через стеновые клапаны «КИВ-125» и «В-75» при различных перепадах давлений (по результатам испытаний)

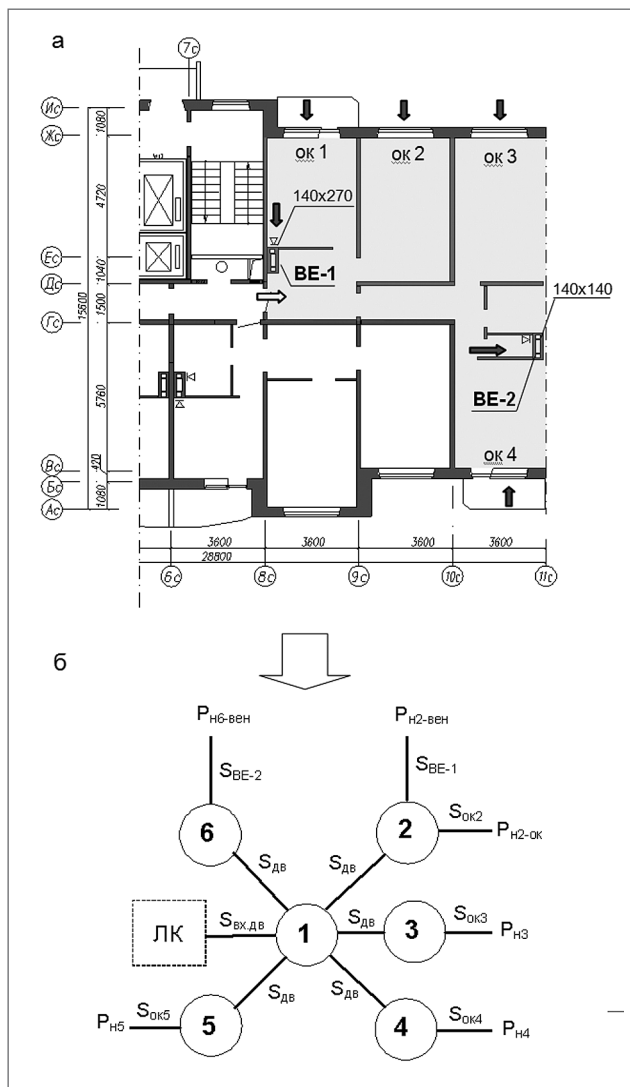


Рис. 3. Схематичный план (а) и расчетная схема (б) системы вентиляции трехкомнатной квартиры многоэтажного жилого дома с вертикальными сборными каналами

лением, определяемым по разности плотностей наружного и внутреннего воздуха и расстоянию от центра вытяжной решетки до устья канала при расчетной температуре наружного воздуха +5 °С

$$\sum(P_{тр} + Z) \leq P_{g,i'} \quad (6)$$

где  $P_{тр}$ ,  $Z$  — потери давления на трение и местные сопротивления соответственно, Па;  $P_{g,i'}$  — располагаемое давление, рассчитываемое по формуле (4), Па.

При этом потери давления в приточных устройствах или светопрозрачных конструкциях не учитываются — из предпосылки, что воздухопроницаемость оконных блоков достаточно велика или открыты форточки.

Рассчитанные и запроектированные таким образом каналы кухни и санузла (например, сечением 140x270 мм и 140x140 мм соответственно) должны обеспечивать требуемый воздухообмен квартиры в рабочем режиме  $L_{кв}^{раб} \sim 140 \text{ м}^3/\text{ч}$ . И формально этот воздухообмен каналы в состоянии обеспечить — при открытых створках оконных блоков.

Расчет этой же квартиры, выполненный с учетом реальной воздухопроницаемости ограждающих конструкций (по программе «S-VENT» — см. табл.1) показывает, что при закрытых окнах вытяжные каналы, вследствие отсутствия организованного притока воздуха, не в состоянии обеспечить и 10% от требуемого воздухообмена.

Более того, вся система приходит в состояние неустойчивого равновесия. Вытяжные каналы создают в помещении определенное разрежение и достаточно небольшой разности в высотах оголовков каналов, разности температур удаляемого воздуха или ветровых давлений в устье каналов, чтобы система опрокинулась — один из каналов начал работать на приток, другой на вытяжку (см. табл. 1). Последствия — понижение температуры стенок каналов, конденсат, изморозь, сквозняки и т.п. (см. рис. 2 б).

Аналогичная ситуация может наблюдаться и на нижележащих этажах, с той лишь разницей, что опрокидывается весь стояк, и по сборному каналу наружный холодный воздух опускается вплоть до первого этажа (что и отмечалось неоднократно при проведении обследований подобных систем).

При этом попытки отрегулировать вытяжные каналы в пределах отдельной квартиры (речь идет о каналах-спутниках) или вообще перекрыть их сечение эффекта не дают, поскольку перетекание воздуха идет через каналы квартир других этажей.

### СИСТЕМЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ С ПРИТОЧНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Решение проблемы очевидно — обеспечение регулируемого притока воздуха — либо за счет установки приточных вентиляционных устройств, либо механических систем. И поскольку устройство механических систем приточной вентиляции в многоэтажных зданиях дело достаточно дорогостоящее, то наиболее простое решение — установка приточных вентиляционных клапанов, что и применяется все чаще при проектировании систем венти-

Таблица 1  
Результаты расчета системы вентиляции трехкомнатной квартиры верхнего этажа многоэтажного жилого дома

Расход воздуха через вытяжные каналы, м <sup>3</sup> /ч		Примечания
BE-1	BE-2	
Створки оконных блоков закрыты, приточные клапаны отсутствуют, устье каналов на одном уровне		
- 2,7	-2,4	-
Створки оконных блоков закрыты, приточные клапаны отсутствуют, устье канала BE-1 выше канала BE-2 на 0,2 м		
- 20,9	+ 15,5	Канал BE-2 работает на приток
Створки оконных блоков закрыты, устье канала BE-1 выше канала BE-2 на 0,2 м, в жилых комнатах установлены стеновые клапаны		
- 38,4	- 8,4	Все каналы работают на вытяжку, клапаны — на приток



ляции жилых и общественных зданий. К сожалению, как правило, без какого-либо расчета и увязки их характеристик с вытяжными каналами.

Сложилось определенное мнение, согласно которому достаточно предусмотреть установку каких-либо клапанов, фурнитуры с микропрветриванием или микровентиляцией — и все проблемы решены. Увы, но ситуация гораздо сложнее. И не только потому, что требуемый воздухообмен может быть не обеспечен. Без взаимной увязки сопротивлений приточных и вытяжных систем вентиляционные каналы могут быть опрокинуты и при наличии приточных устройств.

В качестве примера на рис. 4 показана физика этих процессов с применением понятия нейтральной зоны (нейтральная зона — условная плоскость, в которой перепад давлений между внутренним и наружным воздухом равен нулю). При наличии отверстий в ограждающих конструкциях (например, открытых окон) нейтральная зона располагается между приточными и вытяжными отверстиями. Конкретное местоположение нейтральной зоны зависит от соотношения площадей приточных и вытяжных отверстий. При отсутствии приточных устройств или их достаточно большом сопротивлении нейтральная зона поднимается вверх. И чем больше сопротивление приточных клапанов, тем нейтральная зона поднимается выше. При этом, если оголовки каналов расположены на различной высоте, то при определенных условиях один из них может начать работать на приток.

Таким образом, для нормальной работы системы вентиляции необходима взаимная увязка сопротивлений приточных устройств с располагаемыми давлениями и сопротивлением вытяжных каналов. Кроме того, сопротивления каналов в пределах квартиры должны быть увязаны между собой.

В частности, при проектировании системы естественной вентиляции (например, с двумя вытяжными каналами в квартире), представляется необходимым соблюдение равенства

$$P_{\text{ext},1} - (\sum R \cdot \lambda \cdot \beta + Z)_1 \approx P_{\text{ext},2} - (\sum R \cdot \lambda \cdot \beta + Z)_2, \quad (7)$$

где  $P_{\text{ext},1}$ ,  $P_{\text{ext},2}$  — располагаемое давление в каналах квартиры, Па;  $(\sum R \cdot \lambda \cdot \beta + Z)_1$ ,  $(\sum R \cdot \lambda \cdot \beta + Z)_2$  — потери давления на трение и местные сопротивления в этих же каналах, Па.

При выполнении (7) можно рассчитывать, что расход удаляемого воздуха через каналы будет соответствовать проектным значениям и закрытие клапана или открытие форточки будет сопровождаться пропорциональным изменением расхода воздуха через вытяжные каналы.

Подбор количества приточных устройств (стенных или оконных вентиляционных клапанов с учетом их типоразмеров), предлагается производить по разности давлений между располагаемым давлением и потерями давления в вытяжных каналах

$$\Delta P_{\text{пр}} = P_{\text{ext},1} - (\sum R \cdot \lambda \cdot \beta + Z)_1, \quad (8)$$

При этом расход воздуха через приточные устройства следует принимать по паспортным данным или результатам испытаний в зависимости от  $\Delta P_{\text{пр}}$ ,

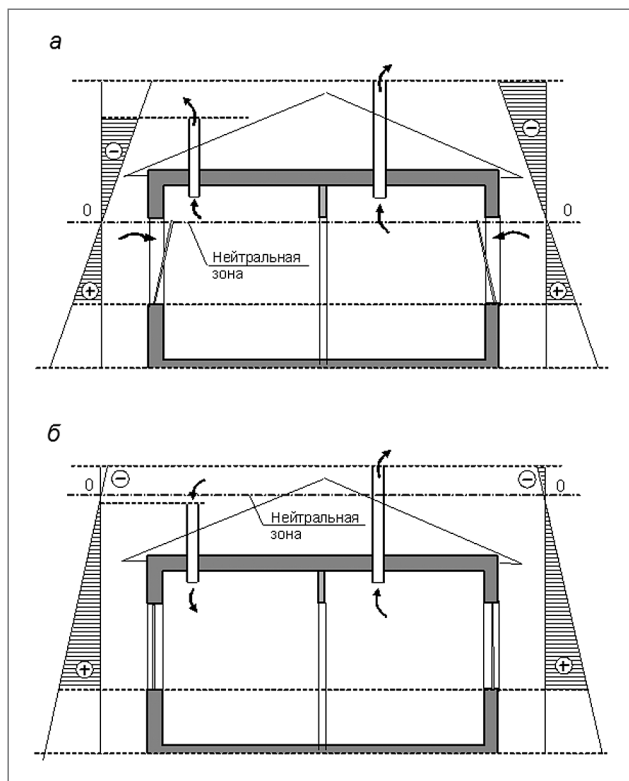


Рис. 4 Изменение расположения нейтральной зоны при открытых (а) и закрытых (б) оконных створках или клапанах

а расход воздуха, поступающего в квартиру, рассчитывать по формуле

$$L_{\text{пр}} = L_{\text{кл}} \cdot N_{\text{кл}} + L_{\text{ок}} \cdot F_{\text{ок}}, \quad (9)$$

где  $L_{\text{кл}}$  — расход воздуха через приточный клапан при расчётной разности давлений,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $N_{\text{кл}}$  — количество приточных клапанов, установленных в квартире;  $L_{\text{ок}}$  — расход воздуха через  $1 \text{ м}^2$  окна,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $F_{\text{ок}}$  — площадь окон в квартире.

Расчет по формулам (7 — 9) системы вентиляции квартиры, представленной на рис. 3, показал принципиальную возможность получения корректных результатов (достаточно хорошую сходимость с результатами расчета по программе «S-VENT V1.0»), но при условии выполнения ряда итераций с учетом изменения расхода удаляемого воздуха и соответственно изменения потерь давлений в вытяжных каналах.

Аналогичный расчет и подбор сечений каналов для многоэтажного здания является уже на порядок более сложной задачей, решение которой в настоящее время без применения ЭВМ представляется маловозможным.

Результаты расчета для одной из блок-секций 12-этажного здания, выполненного по программе «S-VENT V1.0» с учетом перетекания воздуха через входные двери, вертикальные сборные каналы, приточные стенные клапаны, оконные блоки, показали, что система вентиляции с приточными клапанами может устойчиво работать в проектном режиме, однако требуемый воздухообмен обеспечивается не на всех этажах. Соответственно необходимо либо увеличение количества клапанов, либо изме-

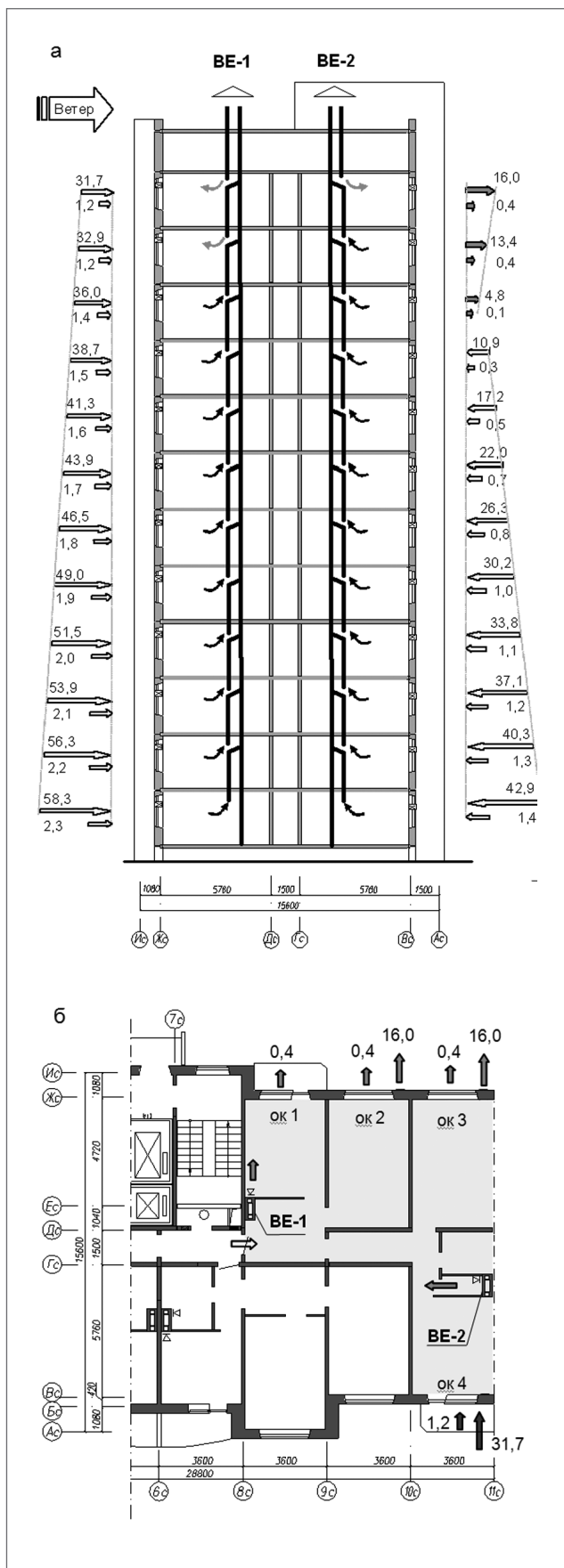


Рис. 5. Распределение расходов воздуха через стеновые клапаны и оконные блоки на наветренной и заветренной сторонах здания: а - по высоте здания; б - на верхнем этаже

нение их характеристик, либо установка в вытяжных каналах верхних этажей вентиляторов.

## ВЛИЯНИЕ ВЕТРОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Усложним ситуацию и рассмотрим эксплуатационное состояние этого же здания при наличии ветра (рис. 5).

На наветренной стороне создается избыточное давление, на заветренной — разрежение. Расход воздуха через приточные клапаны на наветренной стороне существенно возрастает, на заветренной — уменьшается.

При определенной скорости ветра часть стеновых клапанов на заветренной стороне начинает работать на вытяжку, при этом вентиляционные каналы верхних этажей могут опрокинуться и начать работать на приток. И чем больше скорость ветра, тем это влияние больше.

Таким образом, и наличие приточных клапанов не гарантирует стабильной работы системы вентиляции в течение всего года.

Необходимо отметить еще и тот факт, что если в конструкции клапанов не предусмотрено авторегулирование расхода воздуха (ветрозащитных планок или гирорегулируемых элементов) расход воздуха через клапаны наветренной стороны может в несколько раз превышать нормативные значения.

В частности, для многоэтажного жилого дома коэффициент неравномерности воздухообмена верхних и нижних этажей может достигать до

$$k = \frac{\sum L_{\text{нижн}}}{\sum L_{\text{верхн}}} = 4 \div 6.$$

Пути решения данной проблемы — применение приточных устройств с регулируемым расходом воздуха (автоматическим ограничением расхода) и установка на оголовках вентиляционных каналов или вентиляционных шахт дефлекторов.

В качестве примера на рис. 6 приведены результаты расчета 12-ти этажного жилого дома с дефлекторами и регулируемыми стеновыми клапанами.

Наличие ветрозащитных планок обеспечивает ограничение расхода приточного воздуха на заданном уровне (характеристика сопротивления клапана  $S$  меняется после прикрытия планки), при этом уменьшение расхода приточного воздуха на нижних этажах приводит к перераспределению давлений по высоте здания и соответственно увеличению воздухообмена верхних этажей. Установка дефлектора обуславливает появление дополнительного разрежения в каналах при ветре, и соответственно опять же выравнивание распределения давлений и расходов воздуха по высоте здания. Причем влияние дефлектора в большей мере сказывается на верхних этажах.

## ВЛИЯНИЕ РАЗНОСТИ ВЫСОТ ОГОЛОВКОВ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ КАНАЛОВ

Нередко, при проектировании многоэтажных жилых зданий, вытяжные вентиляционные каналы кухни или санузлов располагаются в стене лиф-



товой шахты. В этом случае оголовки вентиляционных каналов могут располагаться на различных отметках, отличающихся иногда на 3-4 м. И если эти каналы размещаются в пределах одной квартиры (а чаще всего так и бывает), то опрокидывание каналов не может предотвратить и наличие приточных устройств.

Разность располагаемых перепадов давлений можно компенсировать лишь тщательной увязкой площадей сечения каналов (а точнее характеристик их сопротивлений). Соответственно более высокие каналы должны быть «зажаты» по сравнению с менее высокими. И хотя компьютерное моделирование позволяет производить подобную увязку, по мере возможности, таких решений все же желательно избегать.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчет и проектирование систем естественной вентиляции современных зданий требует подбора сечений вытяжных каналов с учетом их совместной работы, увязки с характеристиками приточных устройств, прогнозированием эксплуатационного состояния при различных сочетаниях внешних и внутренних воздействий.

От правильного решения этих вопросов в значительной мере зависит устойчивость и эксплуатационная надежность систем вентиляции в целом.

В связи с большим количеством факторов, оказывающих влияние на работу систем вентиляции, отработку типовых решений представляется целесообразным проводить на основе компьютерного моделирования с применением специальных программ.

## Список использованных источников

1. Ливчак И.Ф. Вентиляция многоэтажных жилых домов. – М., Государственное издательство архитектуры и градостроительства, 1951. – 172 с.
2. Константинова В.Е. Расчет воздухообмена в жилых и общественных зданиях. – М., Стройиздат, 1964. – 156 с.
3. Разумов Н.Н. Графо-аналитический метод расчета гидравлически неопределимых схем воздухообмена зданий. В кн. Теплотехнические качества и микроклимат крупнопанельных жилых зданий», Сб.№3, – М., 1974.
4. Гинзбург Э.Я. Расчет отопительно – вентиляционных систем с помощью ЭВМ. – М., Стройиздат, 1979. – 182 с.
5. Китайцева Е. Х., Малявина Е. Г. Естественная вентиляция жилых зданий //АВОК. 1999. № 3.

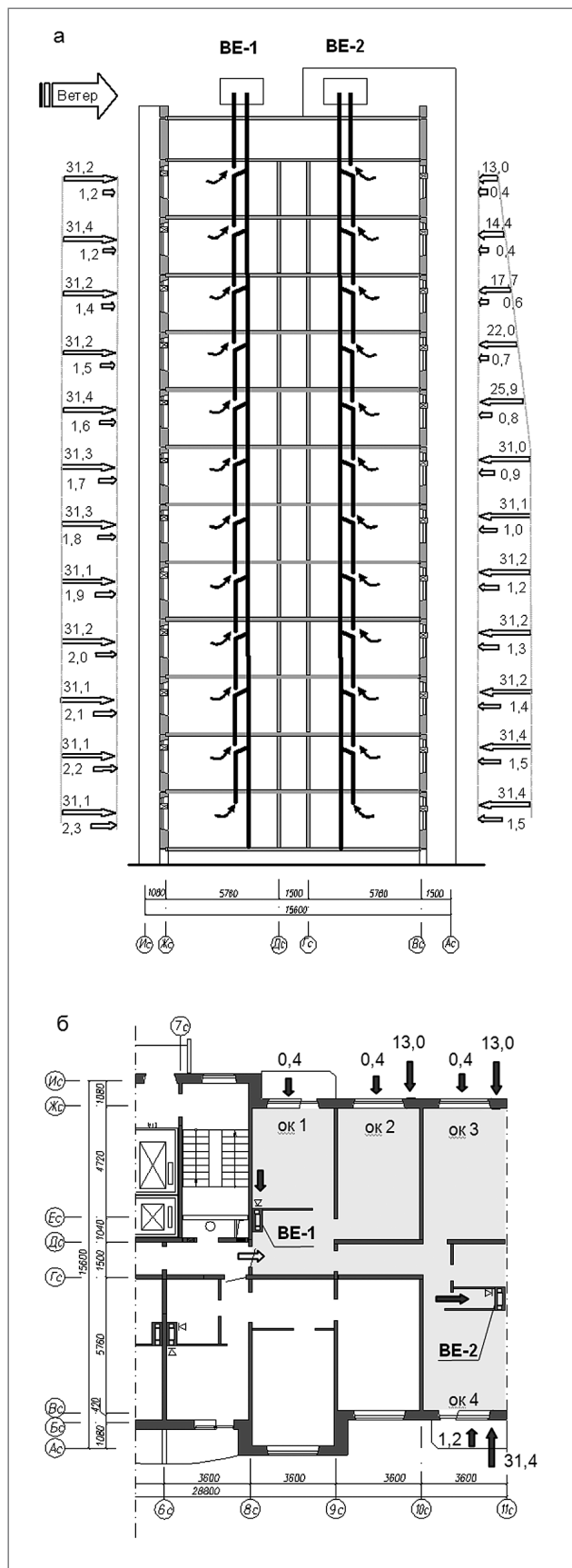


Рис.6. Распределение расходов воздуха через стеновые клапаны и оконные блоки на наветренной и задветренной сторонах здания при оснащении клапанов ветрозащитными планками и установке на каналах дефлекторов:  
а - по высоте здания; б - на верхнем этаже