

Устойчивость работы систем естественной вентиляции многоквартирных жилых зданий

Г. Я. Волон, канд. техн. наук, директор ОДО «Энергомент» (Минск), energovent@open.by

Ключевые слова: естественная вентиляция, математическое моделирование, воздухообмен

Общеизвестно, что в последнее время в связи с новыми требованиями к наружным ограждающим конструкциям зданий понизилась устойчивость работы естественной вентиляции. В статье приводится математическая модель системы естественной вентиляции 9-этажной секции многоквартирного жилого здания, анализируются основные случаи потери устойчивости работы данной системы.

Системы естественной вентиляции – наиболее распространенные системы вентиляции многоквартирных жилых зданий, которые повсеместно используются вплоть до сегодняшних дней. Понятны основные причины, которые легли в основу применения таких систем в практике строительства: простота и практически полное отсутствие эксплуатационных затрат.

Разработки В. В. Батурина, П. Н. Каменева, И. Ф. Ливчака, В. Е. Константиновой, М. М. Грудзинского и др. позволили понять и правильно применить основные механизмы работы систем естественной вентиляции. Однако хорошо известны и недостатки таких систем, которые проявились в домах постройки 50–80-х годов прошлого века. Это и проникновение запахов из нижележащих этажей

на вышележащие, и повышенная инфильтрация, особенно в холодный период года и в ветреную погоду, и зависимость воздухообмена от температуры наружного воздуха и высоты этажа, на котором располагается квартира. Для решения проблем дискомфорта, да и в рамках борьбы за энергосбережение, появились эффективные окна (оконные блоки) с высоким термическим сопротивлением и исключительно низкой воздухопроницаемостью. Также нашли свое применение механические вытяжки над кухонными плитами и бытовые вытяжные вентиляторы в санитарных узлах (ванных комнатах). Появление новых герметичных окон и местной вытяжной вентиляции привело как к устранению вышеизложенных проблем, так и к появлению новых: критическому уменьшению

воздухообмена квартир, росту относительной влажности выше допустимой, опрокидыванию вентиляции в каналах-спутниках. Эти проблемы не были отражены в классических разработках, и поэтому представляют интерес такие современные исследования, в которых анализируются новые проблемы. Можно отметить работы А. Д. Кривошеина [1], Е. Г. Малявиной [2] и др. Особенно следует отметить работы А. Д. Кривошеина в части выявления неустойчивости работы систем естественной вентиляции и опрокидывания вентиляции в рамках применяемых для расчета математических моделей.

Насколько можно понять (в статьях не всегда подробно приводятся алгоритмы расчетов), все вышеперечисленные авторы описывали воздушные потоки в зданиях в виде графовой

структуры, узлами которой являются отдельные помещения. При этом придерживались следующих допущений: а) воздух является несжимаемой средой (отсюда и закон сохранения массы в узлах) и б) поведение здания квазистационарное (при каждом из граничных условий ищется одно стационарное решение), а динамический переход (переходной процесс) – это переход из одного стационарного состояния в другое. Можно говорить о третьем допущении: постоянстве и одинаковости температур воздуха в помещениях, но оно кажется не столь критичным. Для специалистов по вентиляции XX, да и начала XXI века, эти допущения кажутся вполне приемлемыми, и их применение всегда приводило к правильным результатам. Увы, это не совсем так, и виднейшие специалисты это достаточно хорошо понимали (см., например, классическую работу В.М. Эльтермана [3]). Приведу простой пример «нарушения» закона сохранения массы в узле (напомню, что узлом в рассматриваемых работах считалось целое помещение). Пусть в помещении работает естественная система приточно-вытяжной вентиляции, при этом в помещении поддерживается давление воздуха $P1$. Включили достаточно мощный вытяжной вентилятор, который начал отсасывать из помещения воздух, и через некоторое время давление снизилось до значения $P2$ и перестало падать. Вот именно в переходном процессе, когда давление падало с $P1$ до $P2$, и «нарушается» закон сохранения в узле, т.к. по закону Клайперона – Менделеева с уменьшением давления при постоянных объеме и температуре падает масса, т.е. часть воздуха из помещения

(узла) ушла. Именно последнее и не допускали предыдущие теоретические подходы. Второе допущение о том, что система при заданных граничных условиях может иметь только одно стационарное состояние, противоречит опыту работы систем вентиляции многоэтажных зданий: при одних и тех же граничных условиях (габариты здания, степень открытости окон и дверей, наружные температуры, ветер и т.д.) система может иметь не только одно, но и два устойчивых состояния с «нормальной» (т.е. не «опрокинутой») или опрокинутой циркуляцией. Об этом никто уже и не спорит, но теоретического объяснения этому факту предыдущие работы не дают (в работе А.Д. Кривошеина появляется опрокидывание циркуляции при определенных граничных условиях, но при этих же условиях у него невозможно наличие нормальной вентиляции). Мы используем два завышенных термина («нормальная» и «опрокинутая» вентиляция), предполагая, что специалисты по вентиляции понимают, о чем тут речь.

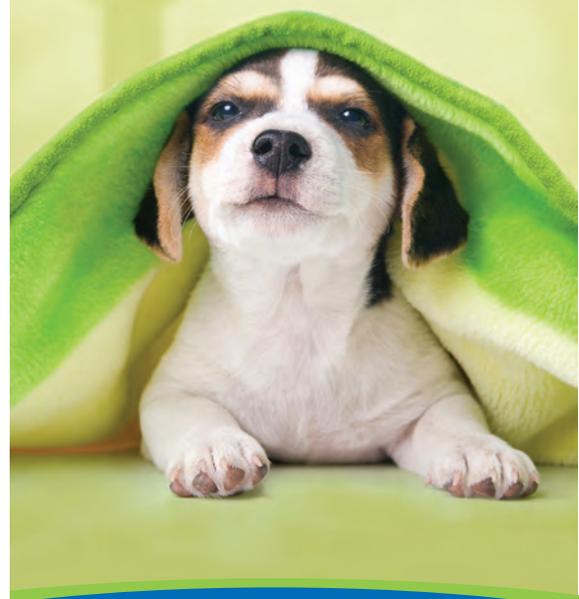
Не секрет, что математическое моделирование использовалось как основной инструмент получения информации всеми указанными выше авторами. Математическое моделирование сводилось, сводится и будет сводиться к составлению и решению систем алгебраических уравнений. Наиболее простые процессы (стационарные) не используют для своего описания уравнения, в которые входит время (дифференциальные), но для более тонкого (динамического) описания они необходимы. Почему я назвал уравнения алгебраическими? Только потому, что решение систем уравнений проводится численными методами,



С НАМИ КОМФОРТНО

КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Вентиляционное оборудование
- Кондиционеры
- Чиллеры и фанкойлы
- Увлажнители воздуха
- осушители воздуха
- Системы автоматики



Москва, улица Тимирязевская, 1, строение 4.

Тел.: (495) 981 1515, (499) 755 1515.

Факс: (495) 981 0117.

Санкт-Петербург, улица Разъезжая, 12, офис 43.

Тел.: (812) 441 3530. Факс: (812) 441 3535.

www.ARKTIKA.ru

в которых дифференциальные уравнения заменяются алгебраическими, т.е. мы не решаем задачу в квадратурах, когда необходимо получить функцию, а не число.

В последние несколько десятков лет, благодаря развитию ЭВМ, появились программы динамического математического (имитационного) моделирования. Самым, наверное, известным представителем таких программ является Simulink (член семейства Matlab). В практике вентиляции нашли применение (за пределами СНГ) такие программы, как BLAST (EnergyPlus) и в особенности TRNSYS. Автор настоящей статьи использует программу МОДЭН (версия 3.23) [4]. Все вышеперечисленные программы позволяют вводить дифференциальные уравнения в свои системы и решать их различными известными методами. В программе, используемой автором, для решения систем уравнений реализован метод Зейделя.

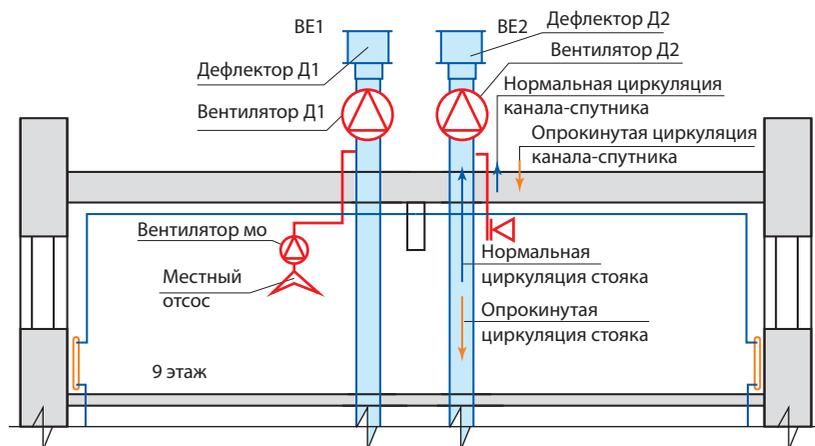
Целью статьи является не анализ и сравнение программ, а выполнение анализа динамической работы системы естественной вентиляции простой секции

9-этажного дома. Хотя основной задачей является рассмотрение системы естественной вентиляции, именно в таком режиме системы работают большее время в году, но мы понимаем, что в современных жилых домах присутствуют вытяжные вентиляторы как в квартирах, так и на дефлекторах; хотя они и включаются эпизодически, системы уже нельзя в полной мере назвать естественными.

Секция дома, которая рассматривается в статье, содержит не только систему вентиляции, но и систему отопления. Роль системы отопления в предыдущих моделях [5] не учитывалась, но, как показала практика, именно эта система часто влияет на решение жильца по вопросу проветривания квартиры. Система вентиляции состоит из двух систем – сборных вентиляционных шахт (BE1 и BE2), оканчивающихся дефлекторами и каналами-спутниками на каждом этаже (рис. 1). Система BE1 имеет на каждом канале-спутнике вентилятор с местным отсосом (имитируем кухонную вытяжку), а BE2 имеет только вытяжную решетку (имитируем ванну и туалет без

вытяжного вентилятора). Система отопления состоит из одного П-образного проточного стояка (без замыкающих участков). На каждом этаже по два окна; хотя комнаты и разделены перегородкой с дверью, но аэродинамическое сопротивление стены мы не учитываем (двери полностью открыты). Межэтажные перекрытия полностью герметичны (с этим можно и поспорить, но такая у нас модель). Ветер всегда дует со стороны системы BE1. Теплопотери в доме только через окна и стены. Индивидуальный тепловой пункт (ИТП) оснащен автоматикой и позволяет имитировать различные режимы подачи теплоты в систему отопления. Нормированный воздухообмен в одной такой квартире (на этаже) примем равным $60 \text{ м}^3/\text{ч}$. Система уравнений, описывающая модель, содержит 4515 уравнений.

В статье достаточно трудно воспроизвести динамику работы системы. Для этого мы будем проводить с моделью здания вычислительные эксперименты (опыты), меняя определенные параметры. При моделировании мы используем два типа окон, которые назовем «старые» и «новые». «Старые» – окна в деревянных переплетах с высокой воздухопроницаемостью в закрытом состоянии, «новые» – современные стеклопакеты с низкой воздухопроницаемостью. «Новые» окна при необходимости можно открывать, тогда их воздухопроницаемость становится равной воздухопроницаемости «старых» закрытых окон. Последовательность проведения и параметры экспериментов (серия 1) приведены в табл. 1.



■ Рис. 1. Помещение 9 этажа

Таблица 1
 Параметры экспериментов серии 1

№	Температура наружного воздуха, $T_{нар}$, °С	Скорость ветра, w , м/с	$T1_{макс}$ °С*	$T2_{макс}$ °С**	Окна	Вентилятор на вытяжке	Вентилятор	
							Д1	Д2
1	-28	0	105	70	«Старые»	Не работает	-	-
2	-28	0	95	60	«Старые»	Не работает	-	-
3	-28	0	95	60	«Новые»	Не работает	-	-
4	-28	0	95	60	«Новые»	1...9 включение	+	-
5	-28	0	95	60	«Новые»	9...1 отключение	-	+
6	-5	0	95	60	«Новые»	1...8 включение	-	-
7	-5	0	95	60	«Новые»	8...1 отключение	-	+
8	+5	0	95	60	«Новые»	1...3 включение	-	-
9	+5	0	95	60	«Новые»	3...1 отключение	-	+

* $T1_{макс}$ – расчетная температура подающего теплоносителя в системе отопления, °С.

** $T2_{макс}$ – расчетная температура обратного теплоносителя в системе отопления, °С.

Эксперимент 1 отражает состояние здания постройки 1950–70-х годов в эти же периоды эксплуатации. Воздухообмены в помещениях (рис. 2) значительные, хотя и сильно разнятся по этажам, но близки к проектным. Температура по этажам в пределах +21 – +26 °С, т.е.

несколько выше нормируемой. С наступлением «периода энергосбережения» теплоснабжающие организации, видя перебои по квартирам, решили понизить график и перевести его со +105 – +70 °С на +95 – +60 °С.

Эксперимент 2 отражает именно такой факт.

Воздухообмены в квартирах практически не изменились, а вот температуры упали до +17 – +22 °С. Привыкшие к теплу жители стали искать противоядие таким решениям. Они сами либо с помощью ЖЭС меняли «старые» окна на «новые» – стеклопакеты.



XVI МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

для систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, водоснабжения и теплоснабжения.

Проектирование, расчет, подбор оборудования, автоматизация систем

13–14 февраля 2014 года

Москва, ул. Новый Арбат, д. 36 (здание Правительства Москвы)

В рамках конференции и выставки будут проведены секционные заседания:

- «Системы вентиляции и кондиционирования воздуха, холодоснабжение»
- «Системы отопления, теплоснабжения, водоснабжения».

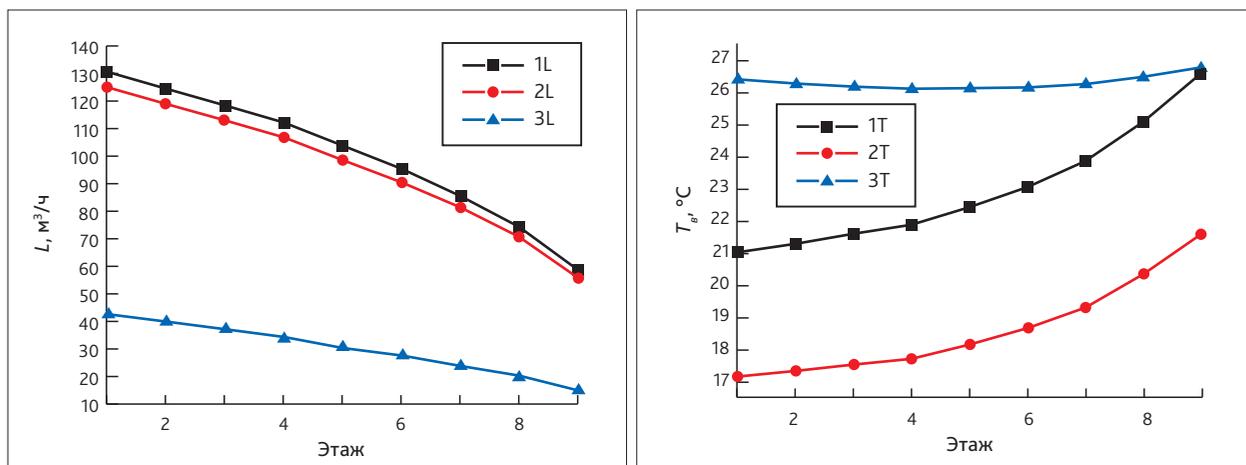
Подробнее смотрите на сайте www.events.abok.ru.

Оргкомитет конференции и выставки:

Тел./факс: (495) 984-99-72; e-mail: potapov@abok.ru



Реклама



■ Рис. 2. Распределение воздухообменов (L) и температур внутреннего воздуха ($T_{в}$) по этажам при $T_{нар} = -28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $w = 0\text{ м/с}$; 1L (Т) – график теплоносителя $+105 - +70\text{ }^{\circ}\text{C}$ («старые» окна), 2L (Т) – график теплоносителя $+95 - +60\text{ }^{\circ}\text{C}$ («старые» окна), 3L (Т) – график теплоносителя $+95 - +60\text{ }^{\circ}\text{C}$ («новые» окна)

Эксперимент 3 показал, что это привело не только к резкому росту температур в квартирах (при закрытых окнах), но и к снижению воздухообменов до очень низких значений на всех этажах, и особенно последних. Именно в таком состоянии с домом начинают происходить разные странные явления. Поскольку вытяжная вентиляция в домах недостаточная, жильцы устанавливают на кухнях механические вытяжки.

Эксперимент 4 показал (кривая 1 на рис. 3), что последовательное включение вытяжных вентиляторов в квартирах, начиная с квартир 1 этажа, не привело к изменению циркуляции в шахте ВЕ2, а дополнительное включение вентилятора при дефлекторе Д1 опрокинуло тягу в шахте! «Опрокинутая» циркуляция характеризуется в результате счета на модели отрицательными значениями расходов воздуха на участках сети, в отличие от «нормальной».

Эксперимент 5. Отключение вентиляторов в обратной последовательности (кривая 2 на рис. 3) не привело к восстановлению «нормальной» циркуляции.

Нам потребовалось дополнительное включение вентилятора дефлектора Д2 (на системе ВЕ2), чтобы восстановить циркуляцию.

Эксперимент 6: те же условия, что и в эксперименте 4, но наружная температура $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (кривая 3 на рис. 3). Последовательное включение вытяжных вентиляторов в квартирах, начиная с квартир 1-го этажа, привело к изменению циркуляции в шахте ВЕ 2 уже при включении вентилятора на 8-м этаже.

Эксперимент 7. Отключение вентиляторов в обратной последовательности (кривая 4 на рис. 3) не привело к восстановлению «нормальной» циркуляции. Нам потребовалось дополнительное включение вентилятора дефлектора Д2 (на системе ВЕ2), чтобы восстановить циркуляцию.

Эксперимент 8: те же условия, что и в эксперименте 4, но наружная температура $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (кривая 5 на рис. 3). Последовательное включение вытяжных вентиляторов в квартирах, начиная с квартир 1 этажа, привело к изменению циркуляции в шахте ВЕ2 уже при включении вентилятора на 4 этаже.

Эксперимент 9. Отключение вентиляторов в обратной последовательности (кривая 6 на рис. 3) не привело к восстановлению «нормальной» циркуляции. Нам потребовалось дополнительное включение вентилятора дефлектора Д2 (на системе ВЕ2), чтобы восстановить циркуляцию.

Физическое объяснение. Наблюдаемое явление легко объяснимо: опрокидывание вентиляции связано с недостатком воздуха для работы системы ВЕ2. Созданное дефлектором Д1 и вентиляторами системы ВЕ1 разрежение преодолевает сопротивление дефлектора Д2. После опрокидывания вентиляции дефлектор Д2 перестает создавать гравитационный напор, и восстановление циркуляции возможно только с применением дополнительного побудителя тяги в системе ВЕ2. **Это наглядное подтверждение, что система естественной вентиляции при одинаковых граничных условиях может иметь два устойчивых состояния, т. е. в этом случае система, если пользоваться**

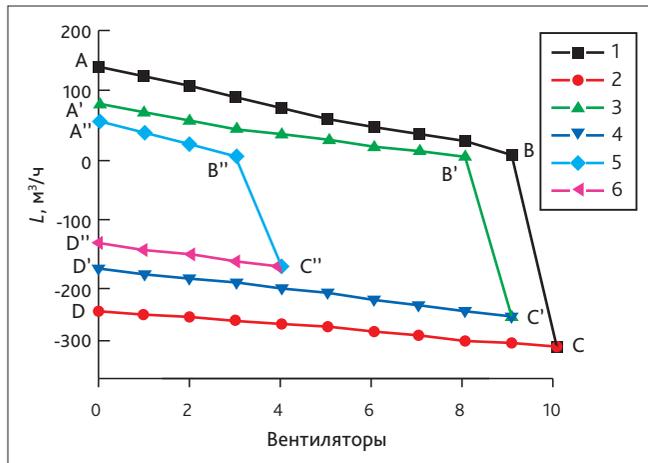


Рис. 3. Опрокидывание вентиляции в шахте системы ВЕ2: 1 (3, 5) – последовательное включение вентиляторов, 2 (4, 6) – последовательное отключение вентиляторов; 1 (2) – $T_{\text{нар}} = -28\text{ }^\circ\text{C}$; 3 (4) – $T_{\text{нар}} = -5\text{ }^\circ\text{C}$; 5 (6) – $T_{\text{нар}} = +5\text{ }^\circ\text{C}$, $w = 0\text{ м/с}$

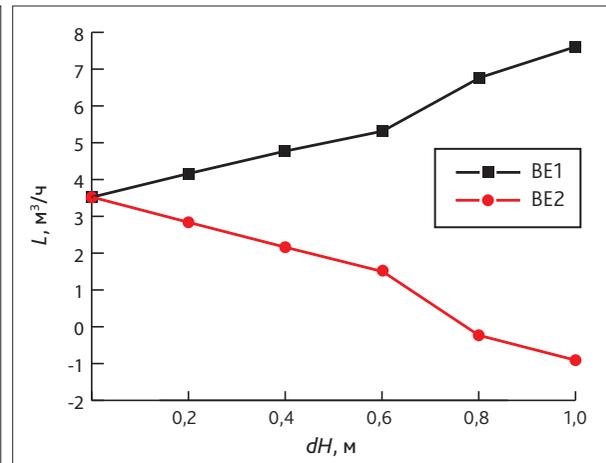


Рис. 4. Зависимость воздухообмена (L) по системам в помещении 9 этажа от разности отметок дефлекторов (dH) при $T_{\text{нар}} = +5\text{ }^\circ\text{C}$, $w = 0\text{ м/с}$ и закрытых («новых») окнах

языком термодинамики, необратима.

Рассмотрим теперь ситуацию, связанную с опрокидыванием вентиляции в канале-спутнике системы ВЕ2 9 этажа, наблюдаемую при наличии разности отметок дефлекторов Д1 и Д2. Мы рассмотрим ситуацию при наружной температуре $+5\text{ }^\circ\text{C}$, скорости ветра 0 м/с , закрытых «новых» окнах и переменной разности отметок ($Hd_1 - Hd_2$) от 0 до 1 м (шаг $0,2\text{ м}$). На рис. 4 видно, что при разности отметок от 0 до $0,6\text{ м}$ циркуляция в каналах «нормальная», причем расход в канале-спутнике ВЕ1 имеет тенденцию к росту, а в системе ВЕ2 – к падению. При разности отметок $0,8\text{ м}$ происходит опрокидывание вентиляции в канале-спутнике системы ВЕ2 и при этом наблюдается резкий

рост расхода в канале-спутнике системы ВЕ1. Следует отметить, что такое поведение носит обратимый характер, т.е. если мы будем уменьшать разность отметок, то вернемся к «нормальной» вентиляции в канале-спутнике.

Физическое объяснение. Разность отметок дефлекторов приводит к разному гравитационному давлению, создаваемому ими. Дефлекторы создают необходимое разрежение для поступления воздуха в помещении (как на всасе вентилятора). Более высоко расположенный дефлектор Д1 создает такое разрежение в помещении 9 этажа, которое не может преодолеть дефлектор Д2. Это напоминает работу двух параллельно работающих вентиляторов, причем один имеет напор больше, чем другой, что приводит (при

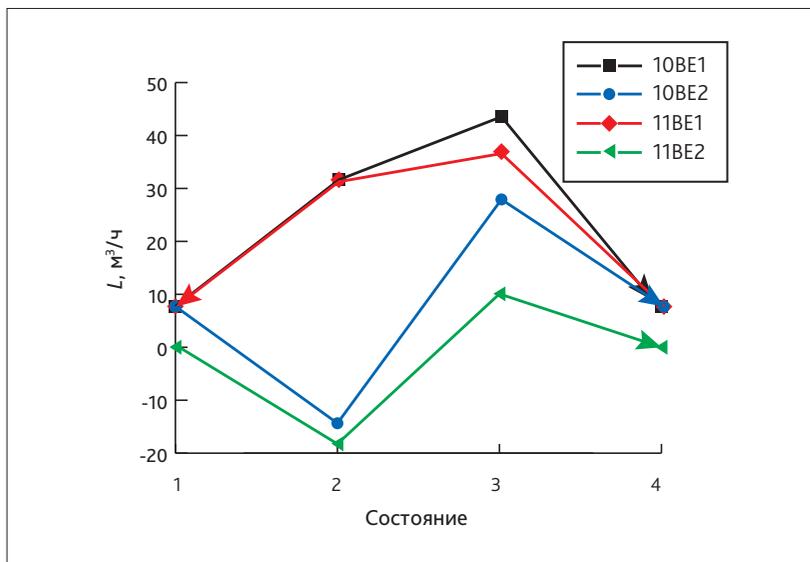
отсутствии обратных клапанов) к обратной циркуляции через низконапорный вентилятор.

Проведем два эксперимента (серия 2) при наружной температуре $+5\text{ }^\circ\text{C}$ (табл. 2), нумерацию экспериментов для удобства продолжим. Задачей экспериментов является показ влияния скорости ветра и разности высот установки дефлекторов на воздухообмены в помещении 9 этажа при разных состояниях окон и вентилятора в помещении.

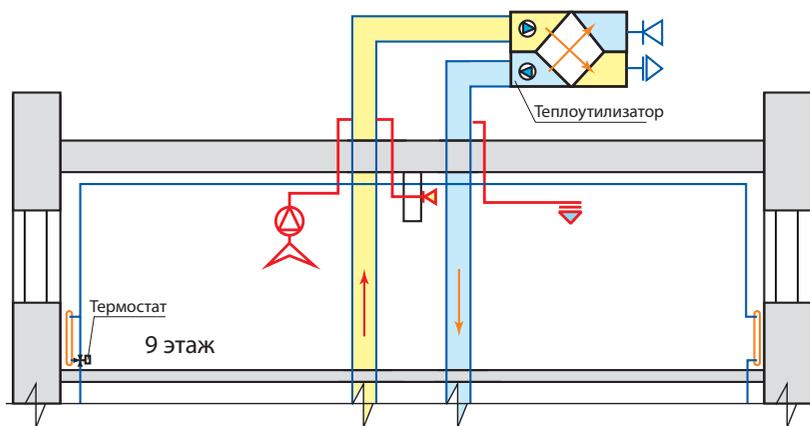
Эксперимент 10. В начальном состоянии 1 (рис. 5, окна закрыты, вентилятор вытяжки не работает) по каналам-спутникам ВЕ1 и ВЕ2 осуществляется «нормальная» циркуляция, включение вентилятора на вытяжке в помещении (состояние 2) приводит

Таблица 2
Параметры экспериментов серии 2

№	$w, \text{ м/с}$	$Hd_1, \text{ м}$	$Hd_2, \text{ м}$	Состояние			
				1	2	3	4
10	0	35	35	Окна закрыты / вентилятор отключен	Окна закрыты / вентилятор включен	Окна открыты / вентилятор включен	Окна закрыты / вентилятор отключен
11	4	35	34	Окна закрыты / вентилятор отключен	Окна закрыты / вентилятор включен	Окна открыты / вентилятор включен	Окна закрыты / вентилятор отключен



■ Рис. 5. Зависимость воздухообменов в помещении 9 этажа от состояния окон и вентиляторов. Состояния: 1) окна закрыты / вентилятор отключен; 2) окна закрыты / вентилятор включен; 3) окна открыты / вентилятор включен; 4) окна закрыты / вентилятор отключен



■ Рис. 6. Механическая приточно-вытяжная вентиляция с утилизацией теплоты вытяжного воздуха

к опрокидыванию вентиляции в канале-спутнике BE2, открытие окна (состояние 3) приводит к восстановлению «нормальной»

вентиляции в канале-спутнике BE2, отключение вентилятора и закрытие окна возвращает систему в исходное состояние.

Эксперимент 11. В начальном состоянии 1 (рис. 5, окна закрыты, вентилятор вытяжки не работает) в канале-спутнике BE1 осуществляется «нормальная», а в BE2 «опрокинутая» циркуляция, включение вентилятора на вытяжке в помещении (состояние 2) не меняет картину, открытие окна (состояние 3) приводит к восстановлению «нормальной» циркуляции в канале-спутнике BE2, отключение вентилятора и закрытие окна возвращает систему в исходное состояние.

Таким образом, мы еще раз убеждаемся в обратимости процессов опрокидывания вентиляции только в канале-спутнике, а также в возможности восстановления «нормальной» вентиляции даже при неблагоприятных условиях (ветер и разная высота установки дефлекторов, работающих на одно помещение) при открывании окон (или иных воздушных клапанов).

Как мы увидели, работа системы естественной вентиляции жилых домов сильно зависит от многих факторов (наружная температура, ветер, расположение дефлекторов, температурный график системы отопления, открывание окон, работа вентиляторов), а распределение температур в квартирах (рис. 2) сильно неравномерно по этажам (эта неравномерность может быть несколько сглажена самими жильцами).

На рис. 6 приведен пример системы, которая позволяет

Таблица 3
Воздухообмены по помещениям при применении приточно-вытяжной механической вентиляции

№	Этаж $T_{нар}, ^\circ C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	-28	57,24	56,16	55,44	54,72	53,64	52,56	51,84	51,48	70,92
13	+5	52,20	51,84	51,48	51,48	51,12	50,76	50,40	51,12	55,44

полностью избежать всех вышеперечисленных проблем.

Были проведены два эксперимента (12 и 13) (окна в помещениях закрыты). Термостаты позволили поддерживать в помещениях требуемую температуру, а воздухообмены значительно подравнялись по этажам (табл. 3) и приняли значения, близкие к планируемым ($60 \text{ м}^3/\text{ч}$).

За пределами статьи остались (хотя построенная модель позволяет на них ответить), например, следующие интересные вопросы:

- Каково влияние утепления здания на температурный график работы системы отопления?
- Каково распределение температур в квартирах в течение отопительного периода?

Хочется надеяться, что методы имитационного моделирования отопительных и вентиляционных систем начнут широко внедряться в практику не только научных работников и студентов, но и проектных организаций.

Заключение

- Неустойчивая работа систем естественной вентиляции характеризуется переменным воздухообменом, создаваемым системой, неравномерностью воздухообмена и температур внутреннего воздуха по этажам, опрокидыванием вентиляции в поэтажных каналах-спутниках и целиком в вентиляционных шахтах.
- Опрокидывание вентиляции в шахтах носит необратимый характер и требует включения дополнительных

источников тяги, будь то вентилятор или повышенный ветровой напор.

- Опрокидывание вентиляции в канале-спутнике носит обратимый характер, «нормальная» вентиляция восстанавливается после снятия условий, которые привели к опрокидыванию, либо за счет открытия окон (приточных клапанов).
- Внедрение дефлекторов с вентиляторами и регулируемых приточных устройств в квартирах позволит повысить надежность систем, однако кардинальным решением может считаться только внедрение приточно-вытяжной механической вентиляции с утилизацией теплоты вытяжного воздуха.

Литература

1. Кривошеин А. Д. Прогнозирование работы систем естественной вентиляции жилых зданий с организованным притоком воздуха // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2011. – № 4.
2. Малявина Е. Г., Бирюков С. В., Дианов С. Н. Воздушный режим высотного здания. Ч. 1. Воздушный режим при естественной вытяжной вентиляции // АВОВ. – 2004. – № 8.
3. Эльтерман В. М. Вентиляция химических производств. – М., Химия, 1980.
4. www.energovent.com.
5. Волон Г. Я. Анализ работы системы вентиляции многоэтажного здания // Энергия и Менеджмент. – 2011. – № 2. ■

В следующих публикациях будут рассмотрены варианты работы систем естественной вентиляции с регуляторами расхода воздуха



НОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ CIAT ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЗДАНИЙ

Холодильная машина
POWERCIAT 2



Холодопроизводительность 610 - 1350 кВт

КЛАСС ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ – EER

Высокая энергоэффективность

EER ≥ 3.1 A ← POWERCIAT 2 Hee

EER 2.9 -> 3.1 B ← POWERCIAT 2

EER 2.7 -> 2.9 C

EER 2.5 -> 2.7 D

EER 2.3 -> 2.5 E

EER 2.1 -> 2.3 F

EER < 2.1 G

Низкая энергоэффективность

Управление и мониторинг
энергоцентра на базе холодильных
машин (max. 8 машин)

POWER CONTROL



Реклама

CIAT ДИСТРИБЬЮШН СНГ

Тел. (495) 641-16-42
Info@ciat.ru
www.ciat.ru