

АНАЛИЗ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Шевченко Л.Ф., к.т.н., доцент,
Одесская государственная академия строительства и архитектуры
Bgedyx@mail.ru

Аннотация. На примере вертикального вентиляционного стояка 24-х этажного жилого здания выполнены аэродинамические расчёты для систем с механической и естественной циркуляции воздуха. Расчёты проводились для круглых и прямоугольных воздуховодов при различной шероховатости их внутренней поверхности. Также был проведён расчёт поэтажного удаления воздуха в зависимости высоты расположения этажа и сечения вентиляционных каналов. Анализ расчётных данных позволил определить область целесообразного применения естественных и механических вентиляционных систем в многоэтажных зданиях с учётом финансовых возможностей инвесторов и требованию их к параметрам микроклимата в квартирах.

Ключевые слова: естественные и механические системы вентиляции, располагаемый перепад давления, потери давления на участке, нормативный и фактический расход воздуха.

АНАЛІЗ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ БАГАТОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

Шевченко Л. Ф., к.т.н., доцент,
Одеська державна академія будівництва та архітектури
Bgedyx@mail.ru

Анотація. На прикладі вертикального вентиляційного стояка 24-х поверхової житлової будівлі виконано аеродинамічні розрахунки систем при механічній та природній циркуляції повітря. Розрахунки проводились для круглих і прямокутних повітроводів при різній шорсткості їхньої внутрішньої поверхні. Також було проведено розрахунок поповерхового розподілу повітря залежно від висоти розташування поверху і перерізу вентиляційних каналів. Аналіз розрахункових даних дозволив визначити область доцільного використання природних та механічних вентиляційних систем у висотних будівлях з урахуванням фінансових можливостей інвесторів і вимог до параметрів мікроклімату в квартирах.

Ключові слова: природні та механічні системи вентиляції, наявний перепад тиску, втрати тиску на ділянці, нормативні і фактичні витрати повітря.

THE AIR CONDITIONING ANALYSIS OF HIGH-RISE APARTMENT BUILDINGS

L. Shevchenko, Ph.D., associate professor,
The Odessa State Academy of Civil Engineer and Architecture
Bgedyx@mail.ru

Abstract. Depending on the height of the building, the specific technical requirements for designing and selection of the heating and ventilation equipment are appeared. In this situation, the question is arisen: What ventilation systems should be preferred.

There are the published articles [1-5] with the experience of designing and operation of multi-storied buildings ventilation systems. However, the comparative analysis of these systems functioning is not examined enough.

The aim of this work is to show main advantages and disadvantages of natural and mechanical ventilation systems used in high-rise buildings, and to identify their appropriate application. To clarify all the features of the exhaust system work in high-rise building, the calculations of one model vent stack of 24-storey residential building were made. The variants of the mechanical systems with natural impulse, with metal and slag-concrete air ducts, with plenum valves and without them were considered. The analysis of the computational data allowed to define the appropriate application of natural and mechanical ventilation systems in high-rise buildings taking into account the financial possibilities of the investors and their request to the apartment microclimate parameters.

Keywords: natural and mechanical systems of ventilation, available pressure drop, pressure loss, minimum and actual air requirement.

Введение. В настоящее время в городском строительстве наблюдается тенденция возведения многоэтажных зданий. В зависимости от высоты здания появляются специфические технические требования к проектированию и выбору оборудования систем отопления и вентиляции. Эти требования обусловлены: противопожарными мероприятиями; особенностями планировки жилых помещений; изменением по высоте здания климатических параметров внешней среды, ограничением статического давления теплоносителя в системах водяного теплоснабжения и ряд других особенностей. При этом возникает вопрос – каким вентиляционным системам следует отдавать предпочтение.

Анализ последних источников исследований и публикаций. Известны публикации [1-5], где изложен опыт проектирования и эксплуатации вентиляционных систем многоэтажных здания. Однако область сравнительного анализа функционирования этих систем освещена недостаточно.

Цель настоящей работы проанализировать основные преимущества и недостатки механических и естественных систем вентиляции, применяемых в многоэтажных зданиях и обосновать область их целесообразного применения.

Результаты исследований. Для уточнения всех особенностей работы вытяжной системы в условиях многоэтажного здания нами были выполнены расчёты типового вентиляционного стояка 24 этажного жилого дома. Причём рассматривались варианты систем с механическим и естественным побуждением, с металлическими и шлакобетонными воздуховодами, с приточными клапанами в комнатах и без них. Фрагмент принципиальной схемы расчётного вентиляционного стояка приведён на рисунке 1.

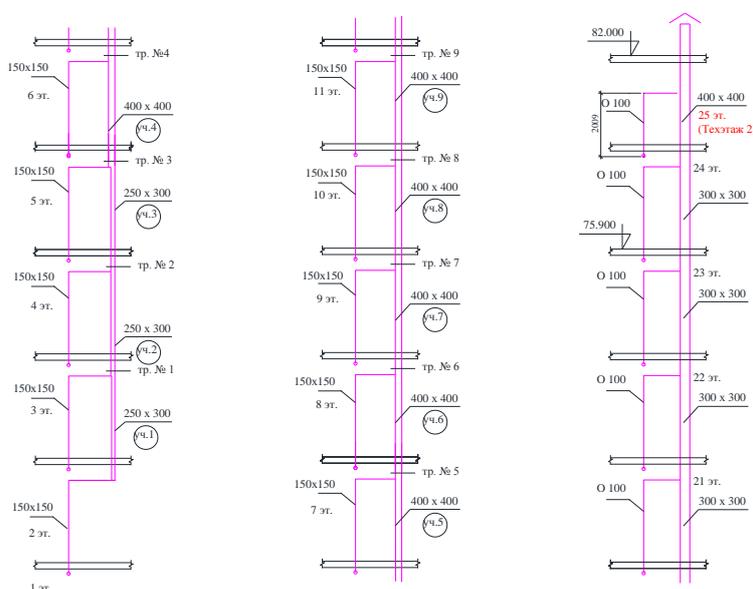


Рис.1. Фрагмент расчётного вентиляционного стояка естественной системы

Ключевые зависимости, определяющие весь расчёт, следующие [1, 2]:

– Располагаемый гравитационный перепад давления по высоте здания, Па.

$$\Delta P_{гр} = 9,8 \cdot (H - h \cdot i) \cdot (\rho_5 - \rho_v), \quad (1)$$

где: H – высота здания от нулевой отметки до устья вентиляционной шахты, м;

ρ_5 – плотность воздуха при температуре + 5⁰С;

h – высота этажа, м;

ρ_v – плотность воздуха при комнатной температуре, кг/м³;

i – номер этажа.

– Фактический расход воздуха, удаляемый через жалюзийную решётку на этаже, м³/ч.

$$L_{ф.ж.р} = L_{ж.р} \cdot \sqrt{(\Delta P_{гр} / \Delta P_{эт})}, \quad (2)$$

где: $L_{ж.р}$ – нормативный расход воздуха, который должен удаляться через жалюзийную решётку на расчётном этаже [3], м³/ч;

$\Delta P_{эт}$ – потери давления на участках от расчётной жалюзийной решётки до устья вентиляционной шахты, Па.

В связи с ограничением скорости воздуха в сборном воздуховоде по акустическим требованиям и стеснёнными условиями их расположения в помещениях кухни и санузлов, расчётный вертикальный стояк вынуждены были разбить на две части. Первая половина стояка обслуживает с 1 по 16 этаж, а вторая с 17 по 24 этаж. Результаты расчётов по известным методикам [4-6], представлены в таблицах 1-3.

Таблица – 1 Аэродинамический расчёт естественной вытяжной системы вентиляции *первой* зоны при шлакобетонных воздуховодах

| i | $\Delta P_{гр}$ | $L_{сбор}$ | l | a | b | d _э | w _{сбор} | R | m | n | R·l·m·n | $\Delta P^{отв}$ | $\Delta P^{прох}$ | $\Delta P_{эт}$ | $L_{ф.ж.р}$ | Приток | |
|----|-----------------|-------------------|-----|-----|-----|----------------|-------------------|-------|------|------|---------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------|--------|-----|
| | Па | м ³ /ч | | | | | | | | | | м | мм | | | мм | мм |
| a | Спутник | 90 | 4,3 | 150 | 150 | 150 | — | 0,18 | 1 | 1 | 0,77 | — | — | | | % | % |
| 1 | 53,8 | 90 | 3,3 | 200 | 150 | 171 | 0,8 | 0,08 | 1,15 | 1,19 | 0,36 | — | — | 22,7 | 138,6 | 54 | 37 |
| 2 | 51,5 | 180 | 3,3 | 200 | 150 | 200 | 1,7 | 0,24 | 1,15 | 1,33 | 1,21 | 0,8 | 1,9 | 21,2 | 140,2 | 56 | 38 |
| 3 | 49,3 | 270 | 3,3 | 200 | 300 | 240 | 1,3 | 0,12 | 1,15 | 1,27 | 0,58 | -0,51 | 0,5 | 20,5 | 139,7 | 55 | 37 |
| 4 | 47 | 360 | 3,3 | 200 | 300 | 240 | 1,7 | 0,18 | 1,15 | 1,3 | 0,89 | 0 | 0,9 | 21,2 | 133,9 | 49 | 31 |
| 5 | 44,7 | 450 | 3,3 | 400 | 300 | 343 | 1 | 0,043 | 1,15 | 1,23 | 0,20 | -0,44 | 0,2 | 21,1 | 130,9 | 45 | 28 |
| 6 | 42,5 | 540 | 3,3 | 400 | 300 | 343 | 1,3 | 0,07 | 1,15 | 1,27 | 0,34 | 0,44 | 0,5 | 22,5 | 123,8 | 38 | 22 |
| 7 | 40,2 | 630 | 3,3 | 400 | 300 | 343 | 1,5 | 0,085 | 1,15 | 1,3 | 0,42 | -1,09 | 0,3 | 21,0 | 124,5 | 38 | 22 |
| 8 | 37,9 | 720 | 3,3 | 400 | 400 | 400 | 1,3 | 0,06 | 1,13 | 1,28 | 0,29 | -1,16 | 0,2 | 20,9 | 121,2 | 35 | 19 |
| 9 | 35,7 | 810 | 3,3 | 400 | 400 | 400 | 1,4 | 0,07 | 1,13 | 1,28 | 0,33 | -0,73 | 0,2 | 21,4 | 116,2 | 29 | 14 |
| 10 | 33,4 | 900 | 3,3 | 400 | 400 | 400 | 1,6 | 0,084 | 1,13 | 1,28 | 0,40 | -0,8 | 0,3 | 21,2 | 112,8 | 25 | 11 |
| 11 | 31,1 | 990 | 3,3 | 400 | 600 | 480 | 1,1 | 0,05 | 1,15 | 1,24 | 0,24 | -0,8 | 0,2 | 21,3 | 108,7 | 21 | 7 |
| 12 | 28,9 | 1080 | 3,3 | 400 | 600 | 480 | 1,3 | 0,044 | 1,15 | 1,28 | 0,21 | 0,22 | 0,2 | 22,5 | 102,1 | 13 | 1 |
| 13 | 26,6 | 1170 | 3,3 | 400 | 600 | 480 | 1,4 | 0,06 | 1,15 | 1,28 | 0,29 | 0,22 | 0,2 | 22,5 | 98 | 9 | -3 |
| 14 | 24,4 | 1260 | 3,3 | 400 | 600 | 480 | 1,5 | 0,055 | 1,15 | 1,3 | 0,27 | 0,22 | 0,3 | 22,3 | 94 | 4 | -7 |
| 15 | 22,1 | 1350 | 3,3 | 400 | 600 | 480 | 1,6 | 0,064 | 1,15 | 1,31 | 0,32 | 0,22 | 0,3 | 22,3 | 89,5 | -1 | -12 |
| 16 | 19,8 | 1350 | 2,9 | 400 | 600 | 480 | 1,6 | 0,07 | 1,15 | 1,32 | 3,07 | 0,22 | 0,0 | 22,6 | 84,3 | -6 | -17 |
| | | | | | | | | | | | Σ 9,42 | | Σ 6,18 | | | | |

Таблица 2 – Аэродинамический расчёт естественной вытяжной системы вентиляции *второй* зоны при шлакобетонных воздуховодах

| i | $\Delta P_{гр}$ | $L_{сбор}$ | l | a | b | d _э | w _{сбор} | R | m | n | R·l·m·n | $\Delta P^{отв}$ | $\Delta P^{прох}$ | $\Delta P_{эт}$ | $L_{ф.ж.р}$ | Приток | |
|----|-----------------|-------------------|-----|-----|-----|----------------|-------------------|-------|------|------|---------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------|--------|-----|
| | Па | м ³ /ч | | | | | | | | | | м | мм | | | мм | мм |
| a | Спутник | 90 | 4,3 | 150 | 150 | 150 | — | 0,18 | 1 | 1 | 0,77 | — | — | | | % | % |
| 17 | 17,6 | 90 | 3,3 | 200 | 150 | 171 | 0,8 | 0,08 | 1,15 | 1,19 | 0,36 | — | — | 15,56 | 95,7 | 6 | -10 |
| 18 | 15,3 | 180 | 3,3 | 200 | 150 | 200 | 1,7 | 0,24 | 1,15 | 1,33 | 1,21 | 0,8 | 1,91 | 14,09 | 93,8 | 4 | -13 |
| 19 | 13 | 270 | 3,3 | 200 | 300 | 240 | 1,3 | 0,12 | 1,15 | 1,27 | 0,58 | -0,51 | 0,51 | 13,33 | 88,9 | -1 | -19 |
| 20 | 10,8 | 360 | 3,3 | 200 | 300 | 240 | 1,7 | 0,18 | 1,15 | 1,3 | 0,89 | 0 | 0,87 | 14,12 | 78,7 | -13 | -27 |
| 21 | 8,5 | 450 | 3,3 | 400 | 300 | 343 | 1 | 0,043 | 1,15 | 1,23 | 0,20 | -0,44 | 0,24 | 14,00 | 70,1 | -22 | -35 |
| 22 | 6,2 | 540 | 3,3 | 400 | 300 | 343 | 1,3 | 0,07 | 1,15 | 1,27 | 0,34 | 0,44 | 0,46 | 15,34 | 57,2 | -36 | -46 |
| 23 | 4 | 630 | 3,3 | 400 | 300 | 343 | 1,5 | 0,085 | 1,15 | 1,3 | 0,42 | -1,09 | 0,27 | 13,87 | 48,3 | -46 | -55 |
| 24 | 1,7 | 630 | 2,5 | 400 | 400 | 400 | 1,1 | 0,06 | 1,13 | 1,28 | 0,22 | -1,16 | 0 | 13,98 | 31,4 | -65 | -71 |
| | | | | | | | | | | | Σ 4,21 | | Σ 4,26 | | | | |

Как видно из расчётных таблиц, естественная система вентиляции имеет следующие особенности:

- работоспособность системы существенно зависит от температуры наружного воздуха и ветровой нагрузки;
- для борьбы с аэродинамическим шумом, который возникает в сборных вентиляционных каналах при высоте противопожарной зоны более сорока метров, необходимо увеличивать их площадь. К тому же приходится организовывать дополнительные горизонтальные или вертикальные сборные каналы и при этом занимать большую полезную площадь в здании;
- наблюдается значительная неравномерность удаления воздуха из расчётных помещений по высоте расположения спутниковых каналов, что вынуждает постоянно регулировать систему в течение года;
- с установкой приточных клапанов в квартирах появляется возможность частично регулировать расход приточного воздуха, его температуру и чистоту, но при этом ухудшается воздухообмен на этажах, расположенных выше сорока метров;
- ввиду низкого перепада гравитационного давления после 19 этажа, необходимо на каждом канале-спутнике устанавливать бытовые вентиляторы с обратным клапаном или проектировать отдельную механическую вытяжную систему вентиляции;
- несколько расширить диапазон эффективной работы естественной системы вентиляции можно путём замены шлакобетонных воздухопроводов на металлические, в которых шероховатость внутренней поверхности меньше;
- эти системы имеют низкие эксплуатационные и капитальные показатели, что зачастую обеспечивает их конкурентоспособность.

На основе аэродинамического расчёта, проведён анализ работы того же вентиляционного стояка, но с установкой крышного вентилятора в устье сборного канала. Результаты расчётов представлены в таблице 3.

Таблица – 3 Аэродинамический расчёт механической вытяжной системы вентиляции *первой и второй* зон при стальных воздуховодах

| N | L, | l, | d, | a, | b, | w, | R, | Rl, | $\sum \xi$ | hd, | Z, | $\Delta P,$ | $\sum \Delta P,$ |
|----|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------------|------|------|-------------|------------------|
| | м ³ /ч | м. | мм. | мм. | мм. | м/с | Па/м | Па | | Па. | Па. | Па. | Па. |
| a | 90 | 4,3 | 100 | 100 | 100 | 2,5 | 1,1 | 4,7 | 4 | 3,8 | 15,7 | 20,4 | 50 |
| 1 | 90 | 3,3 | 100 | 100 | 100 | 2,5 | 1,1 | 3,6 | 1 | 3,8 | 3,8 | 7,4 | 58 |
| 2 | 180 | 3,3 | 111 | 100 | 125 | 4 | 2 | 6,6 | 1 | 9,6 | 9,6 | 16,2 | 74 |
| 3 | 270 | 3,3 | 111 | 100 | 125 | 6 | 4 | 13,2 | 1 | 21,6 | 21,6 | 34,8 | 109 |
| 4 | 360 | 3,3 | 133 | 100 | 200 | 5 | 2,4 | 7,9 | 1 | 15 | 15 | 22,9 | 132 |
| 5 | 450 | 3,3 | 200 | 200 | 200 | 3,1 | 0,5 | 1,7 | 1 | 5,9 | 5,9 | 7,6 | 139 |
| 6 | 540 | 3,3 | 200 | 200 | 200 | 3,8 | 0,95 | 3,1 | 1 | 8,4 | 8,4 | 11,5 | 151 |
| 7 | 630 | 3,3 | 200 | 200 | 200 | 4,4 | 1,1 | 3,6 | 1 | 11,5 | 11,5 | 15,1 | 166 |
| 8 | 720 | 3,3 | 200 | 200 | 200 | 5 | 1,5 | 5,0 | 1 | 15 | 15 | 20,0 | 186 |
| 9 | 810 | 3,3 | 200 | 200 | 200 | 5,6 | 1,8 | 5,9 | 1 | 19 | 19 | 24,9 | 211 |
| 10 | 900 | 3,3 | 240 | 300 | 200 | 4,2 | 0,7 | 2,3 | 1 | 10,4 | 10,4 | 12,7 | 224 |
| 11 | 990 | 3,3 | 240 | 300 | 200 | 4,6 | 1 | 3,3 | 1 | 12,6 | 12,6 | 15,9 | 239 |
| 12 | 1080 | 3,3 | 240 | 300 | 200 | 5 | 1,1 | 3,6 | 1 | 15 | 15 | 18,6 | 258 |
| 13 | 1170 | 3,3 | 240 | 300 | 200 | 5,4 | 1,4 | 4,6 | 1 | 17,6 | 17,6 | 22,2 | 280 |
| 14 | 1260 | 3,3 | 240 | 300 | 200 | 5,8 | 1,7 | 5,6 | 1 | 20,4 | 20,4 | 26,0 | 306 |
| 15 | 1350 | 3,3 | 300 | 300 | 300 | 4,2 | 0,6 | 2,0 | 1 | 10,4 | 10,4 | 12,4 | 319 |
| 16 | 1350 | 3,3 | 300 | 300 | 300 | 4,2 | 0,6 | 2,0 | 1 | 10,4 | 10,4 | 12,4 | 331 |
| 17 | 1440 | 3,3 | 300 | 300 | 300 | 4,4 | 0,7 | 2,3 | 1 | 11,9 | 11,9 | 14,2 | 345 |
| 18 | 1530 | 3,3 | 300 | 300 | 300 | 4,7 | 0,8 | 2,6 | 1 | 13,4 | 13,4 | 16,0 | 361 |
| 19 | 1620 | 3,3 | 300 | 300 | 300 | 5 | 0,9 | 3,0 | 1 | 15 | 15 | 18,0 | 379 |
| 20 | 1710 | 3,3 | 300 | 300 | 300 | 5,3 | 0,95 | 3,1 | 1 | 16,7 | 16,7 | 19,8 | 399 |
| 21 | 1800 | 3,3 | 300 | 300 | 300 | 5,6 | 1 | 3,3 | 1 | 18,5 | 18,5 | 21,8 | 421 |
| 22 | 1890 | 3,3 | 300 | 300 | 300 | 5,8 | 1,3 | 4,3 | 1 | 20,4 | 20,4 | 24,7 | 446 |
| 23 | 1980 | 3,3 | 400 | 400 | 400 | 3,4 | 0,4 | 1,3 | 1 | 7,1 | 7,1 | 8,4 | 454 |
| 24 | 1980 | 2,5 | 400 | 400 | 400 | 3,4 | 0,4 | 1,0 | 2 | 7,1 | 12,9 | 13,9 | 468 |

Из таблицы 3 видно что:

– при искусственной циркуляции воздуха, система вертикального вентиляционного стояка может обеспечить удаление нормативного расхода воздуха из всех 24-х этажей в любое время года без установки дополнительных сборных горизонтальных и вертикальных каналов;

– межсезонная балансировка вытяжной системы может быть решена путём одноразовой установки регулировочных диафрагм на каналах-спутниках;

– установка центрального вытяжного вентилятора в устье стояка создаёт условия для надёжной работы приточных клапанов в каждой жилой комнате. При этом появляется возможность оснастить клапана фильтрами для очистки наружного воздуха, электрообогревателями и шумоглушителями;

– механическая система вентиляции занимает меньше полезной площади в квартирах, хорошо поддаётся регулировке, и её работа мало зависит от внешних погодных условий;

– известно, что капитальные и эксплуатационные затраты этих систем значительно выше чем система с естественной циркуляцией, и поэтому их применение требует серьёзного экономического обоснования.

Выводы:

1. Проведённый анализ работы естественных и механических системы вентиляции открывает возможность проектировать более современные и надёжные инженерные системы микроклимата в квартирах многоэтажных зданий.

2. Выбор схемы и проектирование системы вентиляции жилых квартир многоэтажных зданий необходимо начинать с финансовых возможностей и требований будущих инвесторов к параметрам микроклимата в квартирах.

3. Структура расчёта позволит эффективно проводить пуско-наладочные работы при сдаче вентиляционных систем в эксплуатацию.

4. Системы с искусственной циркуляцией более дорогие, но могут обеспечить практически любые заданные параметры воздуха в квартирах в течение года при любой погоде.

5. Системы с естественной циркуляцией относительно недорогие, но имеют ограниченные возможности в процессе формирования микроклимата.

6. Комбинирование этих двух систем позволит предложить оптимальную схему вентиляции многоэтажного здания, которая бы отвечала различному социальному статусу жильцов.

Литература

1. Ливчак И.Ф. Вентиляция многоэтажных жилых зданий / И.Ф. Ливчак, А.Л. Наумов. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2005. – 136 с.

2. Дональд Росс. Проектирование систем ОВК высотных общественных многофункциональных зданий / Дональд Росс. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2004. – 166 с.

3. ДБН В.2.2-24: 2009. Будинки і споруди. Проектування висотних житлових і громадських будинків. – К., 2009. – 105 с.

4. Р НП АВОК 5.2-2012. Рекомендации АВОК. Технические рекомендации по организации воздухообмена в квартирах жилых зданий. – М., 2012. – 26 с.

5. Щекин Р.В. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Книга вторая. Вентиляция и кондиционирование воздуха. / Р.В. Щекин, С.М. Корневский, Г.Е. Бем – К.: Будівельник, 1976. – 352с.

6. ДБН В 2.5-67: 2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Видання офіційне. – К., 2013. – 141 с.

Стаття надійшла 2.12.2016