

РАСЧЕТ ВЕНТИЛЯЦИИ МКД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ EPANET И ANSYS

А. А. Суворов¹, Ю. А. Иванов²

¹аспирант, УРФУ, Екатеринбург, Россия, forshlag96@gmail.com

²доцент, к. т. н, УРФУ, Екатеринбург, Россия

Аннотация

В реальной проектировочной деятельности расчет сетей естественной и гибридной вентиляции на полвека отстоит от возможностей нынешнего ПО. Это ведёт к перекопировыванию одних и тех же решений из проекта в проект с минимальными отклонениями, отбрасываются только варианты, которые совсем не сработали в уже построенных зданиях.

Проектировщики не имеют простого инструмента, который бы позволил точно и быстро находить расходы, который бы позволил играючи перебирать разные конфигурации системы в поисках наиболее эффективного. Но этот инструмент существует в природе, и далее он и будет описан.

Ключевые слова: расчет вентиляции, гибридная вентиляция, естественная вентиляция, многоквартирный дом, Epanet, Ansys.

DESIGN OF MULTI-APARTMENT BUILDING VENTILATION SYSTEM VIA EPANET AND ANSYS Suvorov A. A., Ivanov Y. A.

In real-life ventilation design task (both natural n hybrid ones) it's used to use the old calculation methods not quite fulfilled the modern époque, not really using modern software abilities. The same patterns over n over go from one project to another and only the numerous and mostly negative feedback could prevent propagation of an unlucky scheme.

The designers aren't really armed with a proper tool for precise and vigor ventilation system calculation. The tool able to change the topology and properties rapidly with instant result right after the final mod. But there is such tool, and here is the description of it.

Keywords: ventilation design, hybrid ventilation, natural ventilation, multi-apartment building, Epanet, Ansys

Введение

Еще с докомпьютерной эры оценочный расчёт воздушных и водяных сетей ведётся по так называемой «расчетной ветви». Это и вправду позволяет оценить необходимую мощность нагнетателя, но едва ли даёт полное представление о режиме работы даже в точках самой расчетной ветки.

При проектировании естественной вентиляции оценочность доходит до того, что всем воздухозаборным решеткам назначают расход порядка 50...60 м³/ч независимо от этажа и подбирают сечение шахты исходя из этих самых чисел.

Попытки состыковать расчет ВЕ с реальностью в академических трудах делались неоднократно. Из недавнего – диссертации Фатулаевой К. М. и Кривошеина М. А [1], [2].

В обоих случаях используется представление воздушного объема здания в качестве системы графов, которая затем решается либо проприетарной программой, либо через «подбор параметра» Excel-я.

Но ведь в качестве системы графов уже в нашу компьютерную эру с чрезвычайной подробностью рассчитываются режимы работы водяных сетей. ZuluHydro и WaterGEMS – надежные инструменты для моментального расчета водопроводных систем самых сложных топологий. И приспособить их бесплатный аналог Epanet для расчета сети транспорта воздуха требует всего лишь пары трюков, легких в освоении.

1 Расчёт системы вентиляции при помощи Epanet

запуск расчёта графический редактор браузер элементов

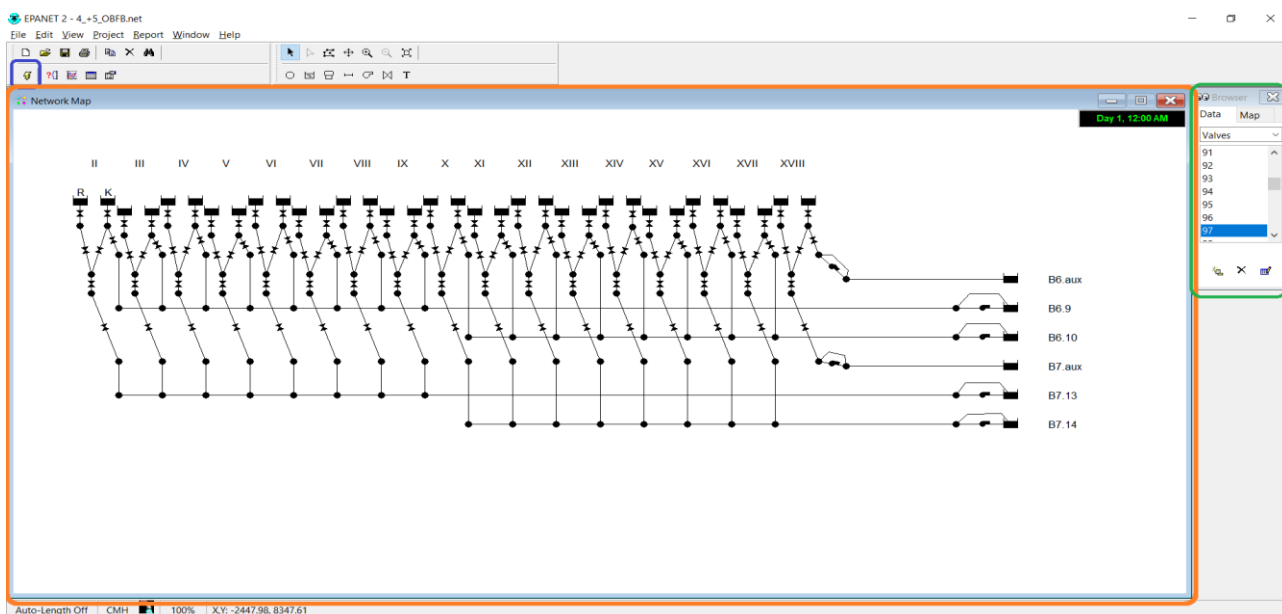


Рисунок 1 – Общий вид программы с открытым проектом вентсети

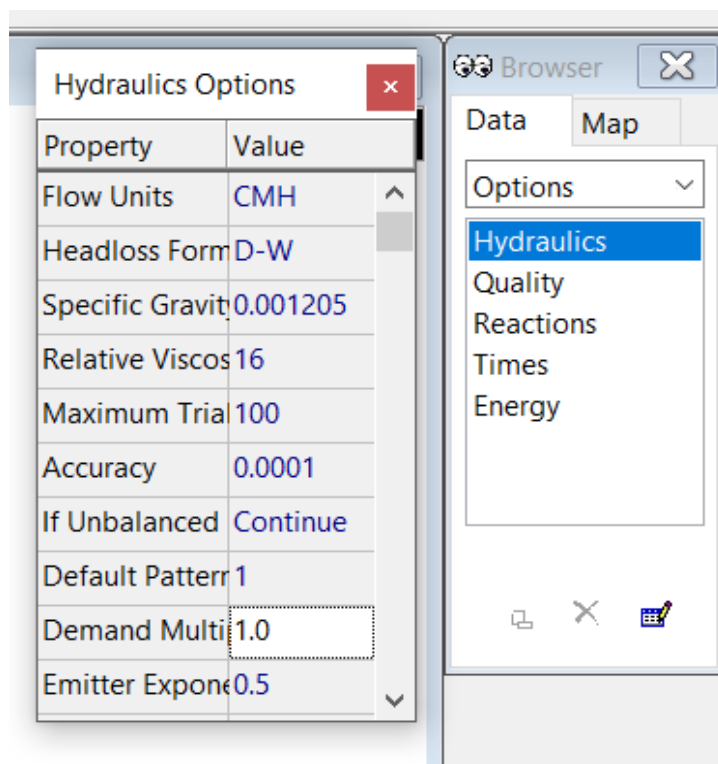
Функционал программы позволяет строить в графическом виде сеть (рисунок 1), состоящую из элементов двух родов – узлов (nodes) и соединений (links).

Произведём настройку программы для расчета транспорта воздуха с использованием удобных величин. Для этого в браузере элементов выберем Options->hydraulics и установим параметры как на рисунке.

В качестве единиц измерения взят метрический набор с измерением расхода в м³/ч.

Модель потерь давления – Дарси-Вейсбах.

Относительная плотность (относительно воды при 4 °С) и относительная кинематическая вязкость (от воды при 20 °С) задают необходимые параметры среды, в нашем случае – воздуха.

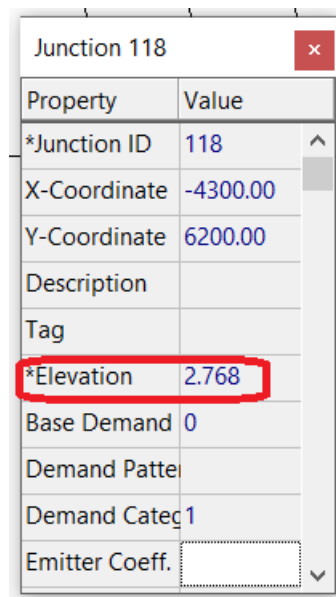
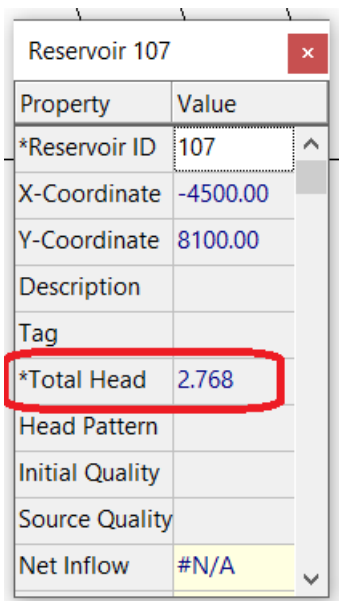


Прочие параметры можно оставить по умолчанию.

Для расчета сети воздуховодов нам потребуется составить сеть: из **резервуаров** (reservoir) – неиссякаемых (в отличие от баков) источников с заданным и в нашем случае постоянным напором (head), они представляют собой воздух после устья вытяжной шахты и перед входом в квартиру.

При необходимости можно задавать изменение давления через назначение соответствующего head pattern-a; **простых узлов** (junction), отвечающих за состояние воздуха на пересечении потоков и служащих для сегментирования участков. Для них задается

геометрическая отметка (о ее расчете будет рассказано позже), а отбор (base demand) равен нулю (по умолчанию);



Property	Value
*Pipe ID	42
*Start Node	44
*End Node	45
Description	
Tag	
*Length	3.05
*Diameter	259
*Roughness	2
Loss Coeff.	1.2
Initial Status	Open

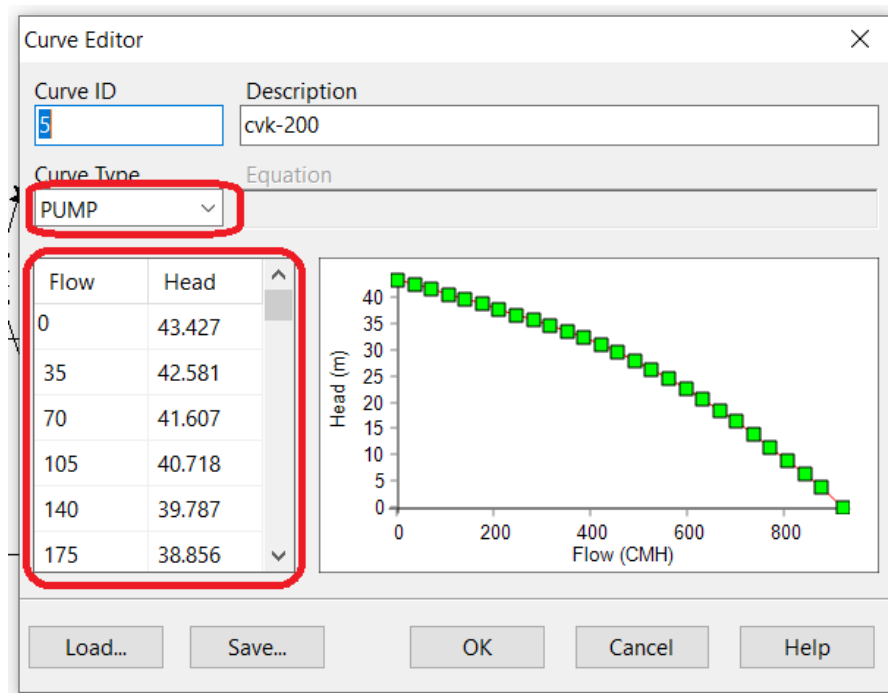
для участков воздуховодов используем объект «pipe» (труба), которому назначаем длину [м], диаметр [мм], шероховатость [мм], и сумму КМС.

При заданном сечении диаметр задается как для круга равной площади, а **не** через эквивалентный диаметр.

Для быстрого изменения топологии можно соединять узлы сразу несколькими трубами, оставляя включенной только нужную (initial status-> open/closed);

вентиляторы задаются как насос (pump) с указанием ID характеристики, которая создается в browser->curves->add;

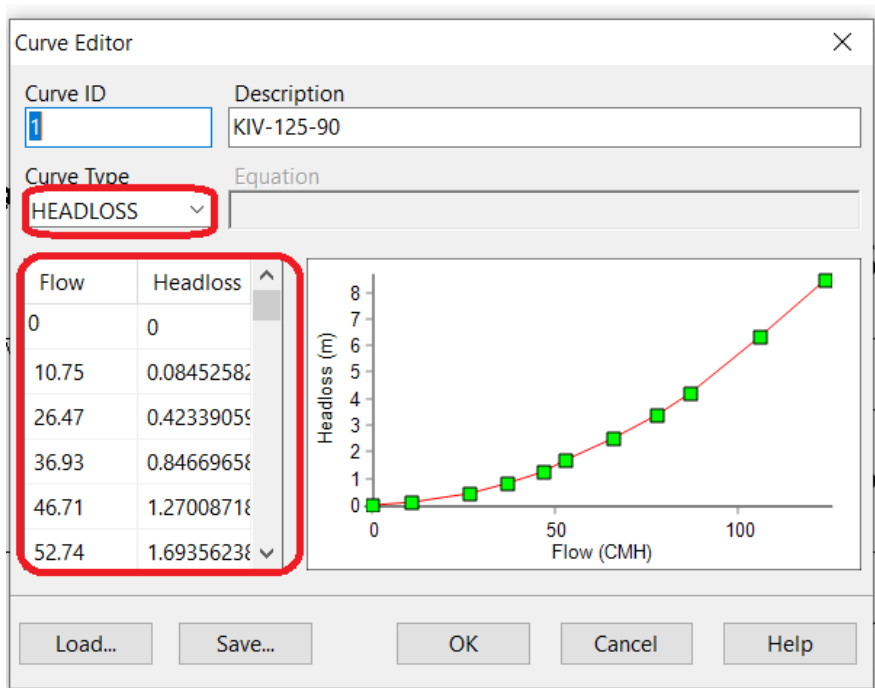
Property	Value
*Pump ID	48
*Start Node	48
*End Node	50
Description	
Tag	
Pump Curve	5
Power	
Speed	
Pattern	
Initial Status	Open



сопротивления с известной P-L зависимостью создаются через объект GPV-valve (клапан общего назначения), которому надо назначить номер кривой потерь давления.

Она в свою очередь задаётся аналогично кривой вентилятора.

Диаметр не важен.



Property	Value
*Valve ID	97
*Start Node	71
*End Node	83
Description	
Tag	
*Diameter	12
*Type	GPV
*Setting	1
Loss Coeff.	0
Fixed Status	None

Правила построения графа просты:

- воздух улицы после выброса шахты – резервуар с напором 0;
- воздух улицы напротив окна конкретного этажа – резервуар с напором, равным тяге (архимедовой силе) на этом этаже. Можно добавить ветровое давление;
- если просчитывается только сама шахта, то резервуар с нужным напором перед участком, отвечающим за вход воздуха в шахту;
- вентилятор направлен по ходу воздуха (иначе он закроется).

Теперь о давлениях и отметках. Программа считает в единицах напора, т. е. в метрах столба среды. Т. к. в основном, в вытяжной системе движется условно теплый воздух, а не уличный, то и приводится все к его плотности.

Например, если располагаемое давление на конкретном этаже равно 30 Па, то резервуар напротив окна этого этажа будет иметь напор $30 / (\rho_{int} \cdot g)$.

В случае 20 °С внутреннего воздуха $30 / (1.205 \cdot 9.81) = 2.537$ м.

Геометрические отметки для ввода в программу находятся следующим образом:

$E_{Elevation} = H_{reversed} \left(\frac{\rho_{ext}}{\rho_{int}} - 1 \right)$, м, где $H_{reversed}$ – отметка, отсчитанная до точки вниз от устья вытяжной шахты.

Для примера рассмотрим расчет ВЕ (рисунок 2) трехэтажного дома с различной конфигурацией входов воздуха:

Первый этаж представляет собой «упрощенную» модель входа, второй – «простейшую», третий – «подробную».

Расставлены отметки, прямые и обратные, температуры (и плотности воздуха), указаны сечения шахты.

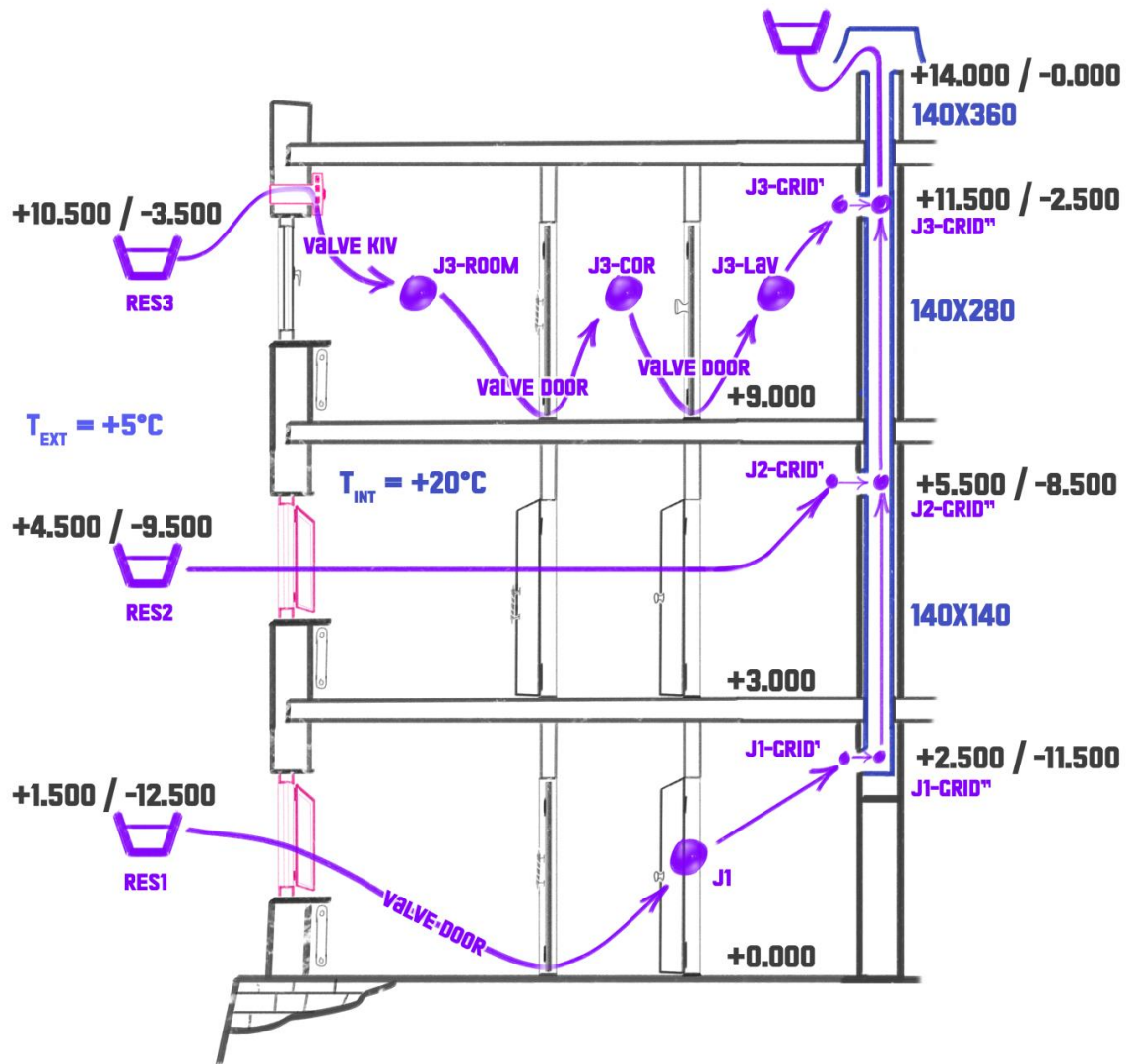


Рисунок 2 – Расчетная схема демонстрационной ВЕ

Теперь определимся с располагаемыми давлениями. На воздух в середине каждого этажа действует выталкивающая сила, пропорциональная вертикальному расстоянию до устья вытяжной шахты:

$$P_{grav} = (\rho_{ext} - \rho_{int})gH_{reversed}$$

Тогда давление для первого этажа при данных температурах составит:

$$P_{grav1} = (1.270 - 1.205) \cdot 9.81 \cdot 12.500 = 7.971 \text{ Па.}$$

Напор, выраженный в метрах столба внутреннего воздуха соответственно:

$$H_{grav1} = P_{grav1} / g\rho_{int} = 7.971 / (9.81 \cdot 1.205) = 0.674 \text{ м возд ст.}$$

Геометрическое превышение узла J1-grid'', отвечающего за воздух сразу после вытяжной решетки, будет:

$$Elevation_{J1-grid''} = 11.500 \left(\frac{1.270}{1.205} - 1 \right) = 0.620 \text{ м.}$$

И подобным образом находим прочие превышения и напоры. Шахта состоит из трех участков типа «pipe» с известными длинами и легко находимыми КМСами. Переток под дверью, вход в шахту и проход через приточный клапан – это объекты типа «GPV-valve» с заданной P-L (см. пункт 2). Участки неестественного тока воздуха (напр. RES2 – J2-grid') полагаются не имеющими сопротивления, для определенности задаются длиной 1 м и диаметром 1000 мм.

В итоге в среде Eranet получается такая система (с уже рассчитанными расходами, подписанными заданными свойствами узлов и соединений):

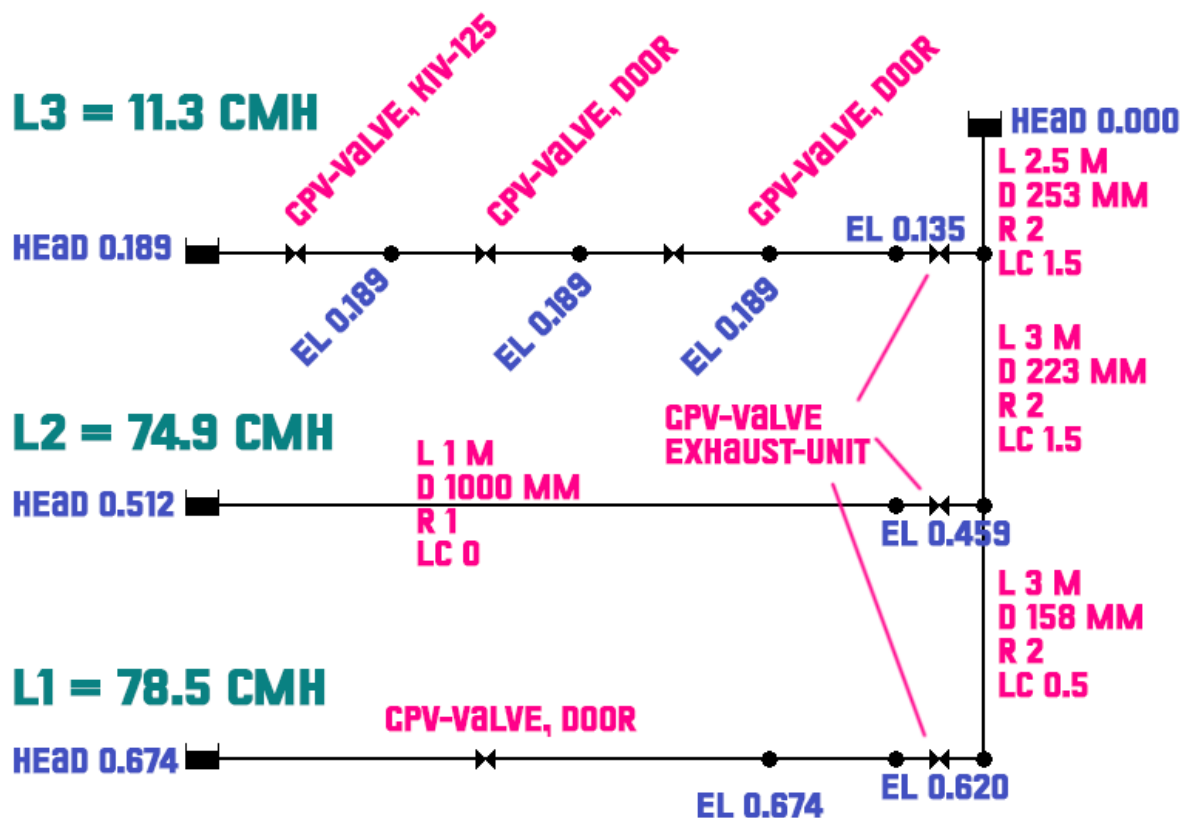


Рисунок 3 – Карта сети в Eranet с подписанными свойствами элементов

Такой метод позволяет рассчитывать системы естественной, механической и гибридной вентиляции любой сложности (однушка 18-этажки с рисунка 1 – далеко не предел). Притом ответ рассчитывается моментально, как только система нарисована и все необходимые свойства назначены.

Из функциональных минусов надо отметить отсутствие удобного импорта данных из Excel – либо надо делать свой скрипт, либо исполнять фокусы с find-n-replace в импортно-экспортном inp-файле самой программы.

Подход был в базе своей разработан Некрасовым А. В. (УРФУ ИСиА, каф. гидравлики) для расчёта именно аэродинамики вытяжных шахт. Добавление имитации тока воздуха от окна до шахты через объекты с заданной P-L – это уже моя задумка, которая будет расписана в следующем пункте.

2 Моделирование элементов сети в Ansys

Целое работает иначе, чем сумма частных, поэтому замена «узких» мест, встречаемых воздухом на своем пути по квартире на эквивалентные по площади каналы, скорее нелегитимна.

Таблица 1 – Результаты продувки в Ansys и их квадратичная аппроксимация

КИВ открытый		вытяжной узел		дверной подрез	
Pa	СМН	Pa	СМН	Pa	СМН
0	0	0	0	0	0
0.999	10.75	0.001289	0.830	0.099	33.664
5.004	26.47	0.0135	4.151	0.499	75.444
10.007	36.93	0.096	12.449	1.000	107.497
15.011	46.71	0.267	20.753	1.499	130.816
20.016	52.74	1.082	41.507	1.999	150.915
30.029	65.91	2.457	62.259	2.999	185.027
40.036	77.48	4.396	83.013	3.990	214.436
50.047	86.83	8.649	116.225	4.999	238.473
75.063	105.93	13.487	145.268	7.499	292.419
100.100	123.61	17.585	166.019	9.981	334.425
$dP=aL^2+bL+c$; dP [Па], L [м³/ч], legitimately после 2 м³/ч					
a	0.0063		0.00061		0.00009
b	0.0401		0.001		-0.0008
c	0.1232		0		0.0236

А интересуют нас три узких момента – это вход воздуха в квартиру, переток под дверь, вылет воздуха в шахту. Для определенности возьмем:

- приточный клапан КИВ-125 с камерой стат. давления перед и после;
- подрез 90 x 3 см (1,5 см подрез и еще на 1,5 набегает остальные три более плотных грани двери) с комнатой перед и после;
- вытяжную решетку 150x200 с комнатой перед ней и участком шахты после.

Надо отметить, что открытые окна и двери можно полагать не имеющими сопротивления, а незарешеченное вытяжное отверстие – это канал с определенным сечением и КМС входа в канал. Т. е. необходимый и достаточный набор внутренних, квартирных сопротивлений представлен, теперь осталось продуть их в Ansys fluid и составить P-L характеристику (таблица 1) которая и использовалась ранее в пункте 1.

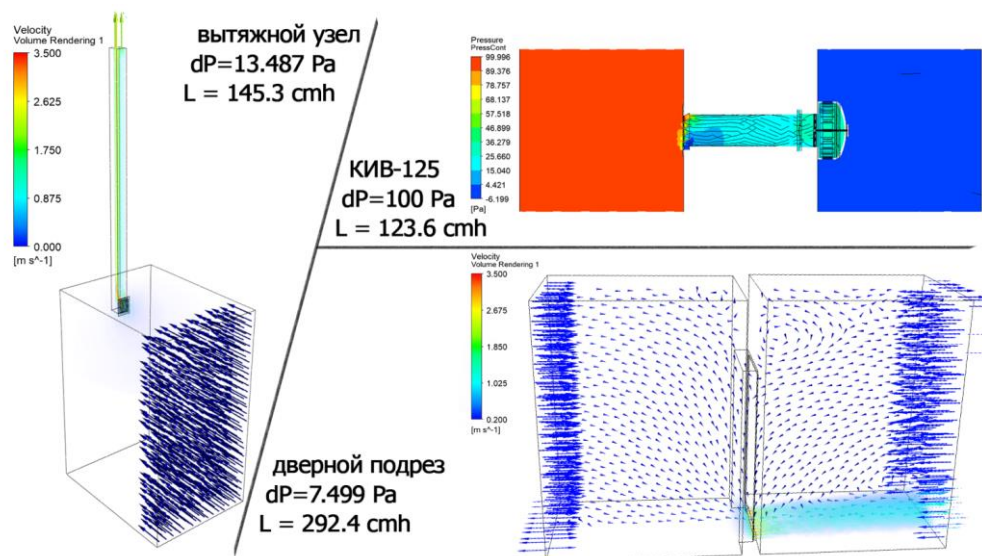


Рисунок 4 – Продутые модели узлов

3 Верификация комбинированного моделирования

Теперь, имея на руках сопротивления соединений между узлами улицы, межкомнат и перед пространством вытяжной шахты, возвращаемся в Eranet и строим там маленькую модельку однокомнатной квартирki – ту, что еще можно проверить в Ansys-e. Интересует именно верификация движения воздуха по квартире, в шахте уверенность полная.

В квартире есть два входа – в комнате и в кухне, и два выхода – в кухне и санузле. Проверим два варианта – симметричный и ассиметричный с одинаковыми и разными давлениями на входах.

Симуляция в Ansys-e проводится с также подробными тепловыми граничными условиями, представление о которых (и о результате симметричного расчета) вы можете получить из следующего изображения:

Из таблиц сравнения результатов (таблицы 2 и 3) видно, что погрешности минимальны, несмотря на в корне иной метод расчета.

Заключение

В представленной здесь методике расчета используются две программы: Eranet и Excel для основных и вспомогательных вычислений соответственно. Обе устойчивы к ошибкам, обе дают понять, если что-то идет очень сильно не так, в обеих программах можно визуально найти выбивающийся из ряда параметр и перепроверить конкретно его.

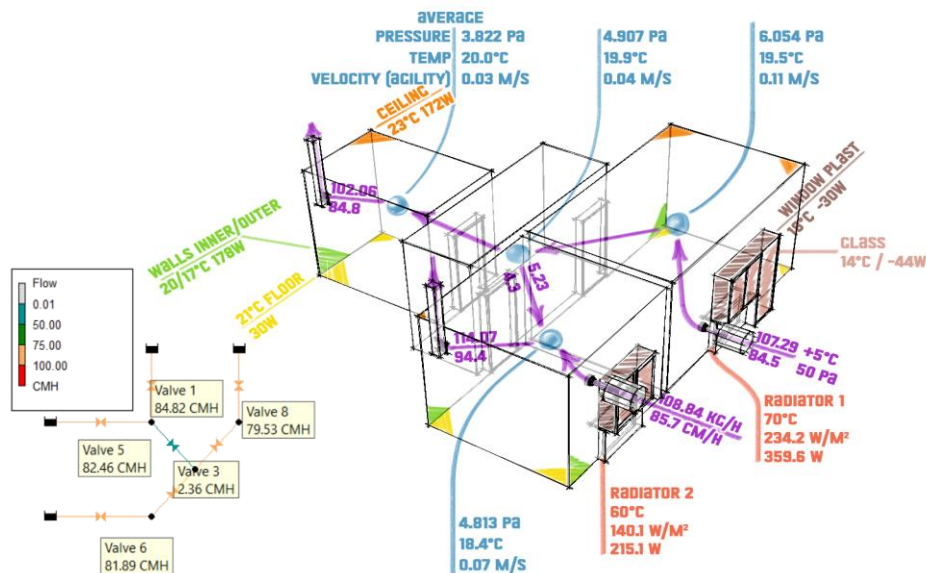


Рисунок 5 – Модель однушки в Ansys-е и Epanet-е с результатами «симметричного» эксперимента

Таблица 2 – Результаты моделирования «симметричного» случая

ПОТОК		давл., Па	темп., °C	расход, м³/ч			расход, % %
				Ansys	Epanet	Epanet · (ρ ₊₅ /ρ ₊₂₀)*	
ВХОД	комната	50	5	84.5		81.9	49.6 49.8
	кухня	50	5	85.7		82.5	50.4 50.2
ВЫХОД	кухня	0	19.1	94.4		84.9 89.4	52.7 51.6
	санузел	0	20.2	84.8		79.5 83.8	47.3 48.3
воздухообмен		по входу		170.2		164.4	Δ=3.5%
		по выходу		179.2		164.4 173.2	Δ=9.0 % 3.5 %

*учёт теплового расширения приточного воздуха по пути до вытяжки

Таблица 3 – Результаты моделирования «ассимметричного случая»

ПОТОК		давл., Па	темп., °C	расход, м³/ч			расход, % %
				Ansys	Epanet	Epanet · (ρ ₊₅ /ρ ₊₂₀)*	
ВХОД	комната	2	5	13.7		13.3	30.7 30.8
	кухня	7	5	30.9		29.9	69.3 69.2
ВЫХОД	кухня	0	20.2	25.7		22.7 23.9	54.7 52.5
	санузел	0	20.3	21.3		20.5 21.6	45.3 47.5
воздухообмен		по входу		44.6		43.2	Δ=3.2%
		по выходу		47.0		43.2 45.5	Δ=8.8 % 3.3 %

Такой роскоши не может предоставить ни ручной расчет по Дарси-Вейсбаху, ни проприетарное ПО для решений систем уравнений, ни инструмент «подбор параметра» в Excel.

Область применения не ограничена только гибридной или естественной вентиляцией, но включает и системы с механическим побуждением. Использование в расчёте элементов с рассчитанной или заранее известной P-L кривой позволяет рассчитывать системы, состоящие не только из стандартных аэродинамических сопротивлений, но и вообще из любых.

Благодарность Некрасову Александру Васильевичу, к. т. н, доценту кафедры Гидравлики ИСиА УРФУ за базовую методику расчета.

Список цитированных источников

1. Фатуллаева, Каминат Мурадовна Совершенствование систем естественной и гибридной вентиляции многоэтажных жилых зданий / К. М. Фатуллаева // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Москва : 2021.
2. Кривошеин, Михаил Александрович Совершенствование систем вентиляции жилых многоквартирных зданий с индивидуальными вытяжными вентиляторами на основе расчета воздушного режима / М. А. Кривошеин // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – Санкт-Петербург : 2019.
3. Материалы, использованные в статье [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://disk.yandex.ru/d/nHKXQ0FNII6gQg>.