

Численное моделирование утечки метана в помещении кухни с использованием SolidWorks Flow Simulation при различных размерах отверстия.

Вороновский Евгений Александрович

Студент (магистр)

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова, Белгород,
Россия

E-mail: voronovskiy_2020@mail.ru

Численное моделирование утечки метана в помещении кухни с использованием SolidWorks Flow Simulation при различных размерах отверстия.

Вороновский Евгений Александрович

Научный руководитель: Саввин Н.Ю., к. т. н., доцент.

Белгородский технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

Численное моделирование утечки метана в помещении кухни с использованием SolidWorks Flow Simulation при различных размерах отверстия.

Аннотация. В статье представлены результаты численного моделирования процессов утечки метана в помещении типовой кухни с использованием программного комплекса SolidWorks Flow Simulation. Исследовано влияние диаметра отверстия утечки (от 0,1 до 2,0 мм) на динамику распространения газозвдушной смеси, время достижения нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР) и характер распределения концентрационных полей. Показано, что размер отверстия критическим образом определяет не только интенсивность поступления газа, но и режим истечения, пространственное распределение метана и локализацию взрывоопасных зон. Установлено, что при увеличении диаметра отверстия с 0,5 до 1,0 мм время достижения НКПР сокращается с десятков минут до нескольких минут, что необходимо учитывать при оценке рисков и проектировании систем газовой безопасности.

Ключевые слова: метан, утечка газа, SolidWorks Flow Simulation, размер отверстия, кухня.

Программный комплекс SolidWorks Flow Simulation позволяет смоделировать ситуацию утечки газа в помещении и посмотреть степень распространения метана [3].

Цель данной работы — численное моделирование утечки метана в помещении кухни с использованием SolidWorks Flow Simulation для различных размеров отверстия утечки и анализ влияния этого параметра на формирование взрывоопасных зон.

В среде SolidWorks была создана трехмерная модель типовой кухни размерами (3,0×2,5×2,5 м). Модель включает: газовую плиту, расположенную у стены (габариты 0,6×0,5×0,85 м), источник утечки в месте опуска газовой трубы к плите, дверной проем (0,8×2,0 м), окно (1,2×1,2 м). Для контроля концентрации метана в объеме помещения заданы несколько виртуальных датчиков на различном расстоянии от источника утечки.

Для анализа влияния размера отверстия были заданы следующие диаметры утечки:

- 0,1 мм (микроутечка);
- 0,5 мм (малая утечка, микротрещина);
- 1,0 мм (средняя утечка);
- 2,0 мм (значительная утечка, сквозное отверстие).

Расход газа для каждого сценария рассчитывался автоматически в Flow Simulation на основе законов истечения сжимаемой среды [1]. В SolidWorks Flow Simulation используется автоматическая адаптивная сетка с возможностью локального измельчения [4]. Для данной задачи были заданы следующие параметры. Общее количество расчетных ячеек составило от 500 000 до 750 000 в зависимости от сценария [2, 4].

Анализ результатов моделирования позволил выделить три характерных режима истечения, определяемых размером отверстия:

Таблица 1 — Параметры истечения метана при различных диаметрах отверстия

Диаметр, мм	
Площадь отверстия, мм ²	
Массовый расход, кг/с	
Режим течения	
Скорость истечения, м/с	
0,1	
0,00785	
$1,82 \times 10^{-8}$	
Ламинарный/диффузионный	
< 1	
0,5	
0,196	
$4,65 \times 10^{-6}$	
Переходный	
15-20	
1,0	
0,785	
$1,87 \times 10^{-5}$	
Турбулентный	
45-60	
2,0	
3,14	
$7,42 \times 10^{-5}$	
Турбулентный (звуковое течение)	
> 100	

Обработка результатов в модуле постпроцессора SolidWorks Flow Simulation позволила получить картины распределения концентрации различных сечениях помещения. Степень распространения метана при его утечке через отверстие диаметром 0,5 мм. Представлена на рисунке .

Рис. 1. Траектория потока метана при утечке.

Микроутечка (0,1 мм). Так как метан легче воздуха, он поднимается и накапливается в верхней части помещения под потолком. Наблюдается четко выраженное разделение концентраций метана по высоте. В верхней части газ уходит в вентиляцию. На высоте до 0,5 метра метан практически отсутствует.

Средняя утечка (0,5-1,0 мм). С увеличением диаметра отверстия формируется турбулентная струя, которая обеспечивает активное перемешивание газа с воздухом. Распределение концентрации становится более равномерным, однако сохраняются локальные места с наибольшей концентрацией метана: непосредственно вблизи места утечки), в застойных зонах.

Крупная утечка (2,0 мм). Происходит интенсивное турбулентное перемешивание, и распределение метана по объему помещения становится практически равномерным и помещение полностью заполняется газом.

Ключевым параметром для оценки риска является время достижения нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР) (5% объемных для метана) в различных зонах помещения. Результаты моделирования представлены в таблице 2.

Таблица 2 — Время достижения НКПР при различных диаметрах отверстия

Диаметр, мм

Время достижения НКПР в локальной зоне (под потолком)

Время достижения НКПР в объеме помещения (средняя концентрация)

0,1

> 5 часов

> 5 часов

0,5

35-45 минут

55-65 минут

1,0

5-7 минут

12-15 минут

2,0

1-2 минуты

4-5 минут

В результате проведенного численного моделирования в среде SolidWorks Flow Simulation получены следующие основные результаты: установлено, что размер отверстия утечки является определяющим параметром, влияющим на интенсивность и характер распространения метана в помещении кухни. Выделены три характерных режима истечения: диффузионный ($d < 0,2$ мм), переходный ($0,2 < d < 0,8$ мм) и струйный турбулентный ($d > 0,8$ мм), подтверждена применимость программного комплекса SolidWorks Flow Simulation для решения задач газодинамики применительно к утечкам газа в жилых помещениях. [5].

Источники и литература

- 1) Кондратенко Е.В. Анализ использования программной среды для решения задач истечения газа через малые отверстия // Контроль. Диагностика. — 2015. — № 11. — С. 41-48 [1].
- 2) Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. — М.: ДМК Пресс, 2010. — 464 с. [1]
- 3) ГОСТ ИЕС 60079-10-1-2013 Взрывоопасные среды. Часть 10-1. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды. — М.: Стандартинформ, 2014 [3].
- 4) Простой расчет Flow Simulation // Учебные материалы CSoft. — 2021. — URL: http://sw.csoft.ru/education/article_20211210_1.html [2].
- 5) Huang Xiaomei, Guo Yanghua, Peng Shini et al. Численное моделирование и экспериментальная проверка диффузии утечки природного газа внутри помещения // Китайский журнал наук о безопасности. — 2012. — Т. 22, № 4. — С. 27-31.
- 6) Pang L., Hu Q.-R., Yang K. Влияние параметров вентиляции на внешний взрыв, вызванный взрывом смеси метан-воздух в помещении // Физика горения и взрыва. — 2022. — № 2. — С. 12-27 [6].

- 7) Li Baizhan, Zhang Furen. CFD Simulation of Three-dimensional Concentration Field of Indoor Natural Gas Leakage // E-gas.cn. — 2017 [7].

Иллюстрации

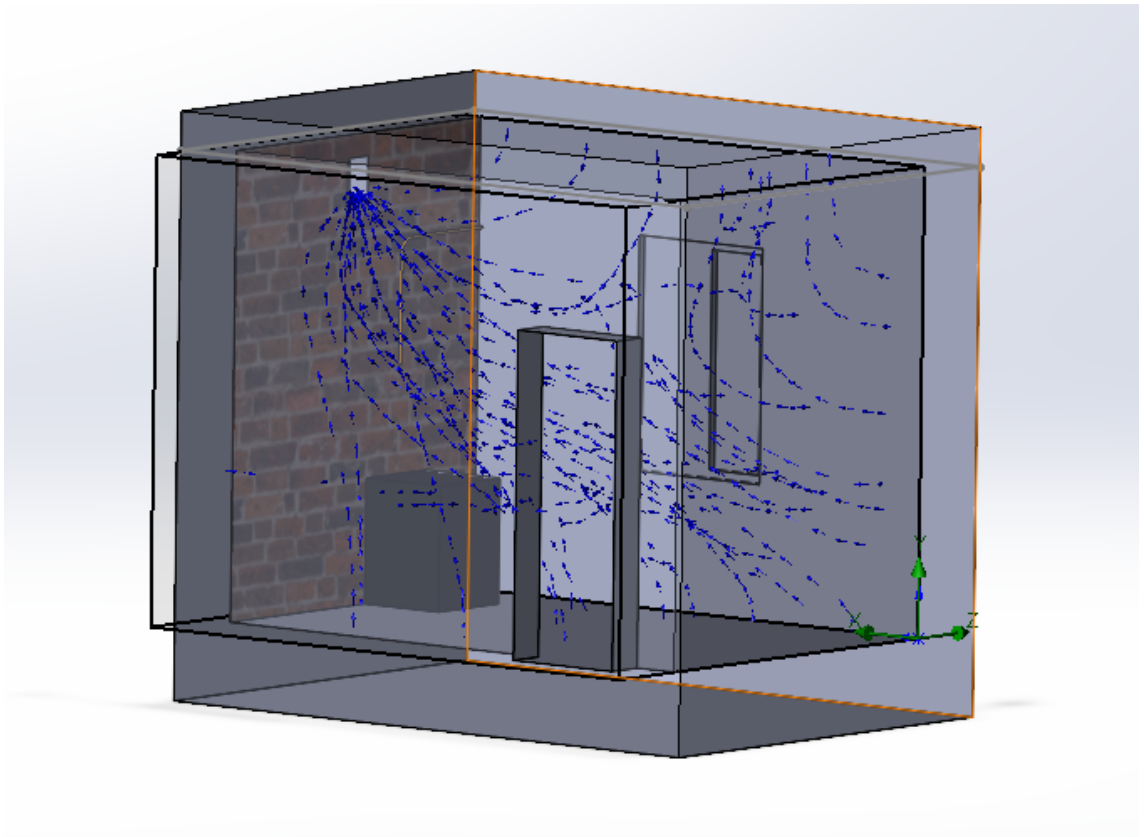


Рис. : Траектория потока метана при утечке