

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ВОДЯНОЙ ЗАВЕСЫ СРЕДСТВАМИ FLOWVISION

Виноградов А.Г., к.ф.-м.н., доцент
Академия пожарной безопасности им. Героев Чернобыля, г.Черкассы, Украина

Водяные завесы широко применяются в современных стационарных системах противопожарной защиты, а также являются одним из средств защиты людей и техники во время тушения пожаров. Для создания водяных завес используются дренчерные оросители в стационарных системах, а также специальные насадки на пожарные стволы.

До настоящего времени отсутствуют теоретически обоснованные методики расчета режимов формирования водяных завес, которые могли бы определить расчетным путем их основные параметры.

В данной работе с помощью программного комплекса [FlowVision](#) выполнено моделирование процесса формирования водяной завесы. С этой целью использовалась модель лагранжевых частиц. Расчетная область была задана в виде достаточно большого параллелепипеда, в боковой грани которого располагался источник частиц в виде прямоугольной области. С целью получения достаточной свободы действий при задании начальных параметров частиц прямоугольник был разбит на 5 частей, в каждой из которых начальные параметры задавались независимо. Процент рабочих стартовых точек задавался достаточно низким (3%), чтобы внести естественную хаотичность в процесс генерации частиц.

Типовые граничные условия задавались следующим образом:

- Граница расчетной области:
 - ✓ тип границы «стенка»;
 - ✓ тип граничного условия:
 - для воздуха «стенка, логарифмический закон»;
 - для частиц «частицы → выход»;
- Вход частиц:
 - ✓ тип границы «стенка»;
 - ✓ тип граничного условия:
 - для воздуха «стенка, логарифмический закон»;
 - для частиц «частицы + скорость»:
 - поток частиц – 2.5 кг/с;
 - диаметр частиц – 1 мм;
 - N старт точек – 100;
 - % старт точек – 3;
 - начальная скорость – 30 м/с;
 - начальные углы (по горизонтали) – $\pm 12^\circ$;
 - начальные углы (по вертикали) – $(30-42)^\circ$.

При исследовании зависимости свойств водяной завесы от какого-либо из параметров изменялся только этот параметр, при этом остальные граничные условия соответствовали вышеуказанным.

В процессе расчета производилась фиксация состояний постпроцессора с периодом 0,1 с, что позволило в дальнейшем воспроизвести динамику формирования водяной завесы в режиме реального времени (создать фильм). Следует отметить весьма реалистичную картину развития данного процесса, которая представила его существенно волновой характер, с периодическими изменениями формы и размеров завесы во всех трех измерениях. На рис. 1 а) и б) представлены 2 вида завесы (соответственно сбоку и сверху) на заключительной стадии расчета.

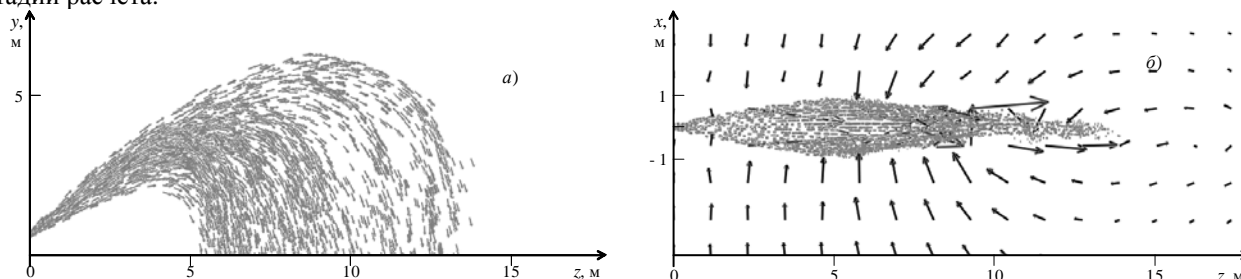


Рис. 1. Расчет траекторий капель водяной завесы: а) вид сбоку; б) вид сверху плюс вектора скоростей воздуха.

Обращает на себя внимание характерная форма завесы при наблюдении сверху (рис. 1б). Расходящийся на начальном участке с углом раствора $\pm 12^\circ$ (см. граничные условия), поток постепенно превращается в сходящийся на периферийном участке завесы. Для объяснения этого эффекта был выполнен анализ движения воздушных масс в зоне, непосредственно прилегающей к плоскости водяной завесы. На рис. 1б представлено векторное поле скоростей воздуха в горизонтальной плоскости при $y = 4$ м. Оно показывает встречные воздушные потоки, направленные к вертикальной плоскости завесы, которые сжимают ее с двух сторон. Таким образом, поток быстрых капель вблизи их источника создает воздушные вихри, которые сжимают водяную завесу и уменьшают ее толщину. Сжатие проявляется наиболее сильно для ее периферийной части (наиболее удаленной от источника капель), где скорости капель вследствие их торможения почти выравниваются со

скоростью воздуха. В то же время, вдоль центральной плоскости завесы действует мощный воздушный поток в направлении движения капель, который относит капли на значительное расстояние от источника, увеличивая общую длину завесы. Картина движения частиц воздуха в динамике, полученная в режиме «вспышек», подтверждает представленную интерпретацию.

Аналитические расчеты траекторий капель с такими же параметрами (диаметр, величина и угол начальной скорости), выполненные в предположении неподвижного воздуха, дают значение длины траектории около 4 м. В данном же случае была получена максимальная длина около 13 м (см. рис. 4), т.е. более чем в 3 раза больше, что может быть объяснено влиянием воздушных потоков.

Мощность воздушных потоков, очевидно, зависит от количества капель, то есть от их массового потока. Для исследования этой зависимости были выполнены расчеты траекторий капель завесы для трех разных массовых потоков, не изменяя другие параметры (диаметр капель, начальная скорость, начальные углы). На рис. 2 представлен результат расчета, который наглядно демонстрирует эту зависимость и подтверждает существенное влияние воздушных потоков, созданных завесой, на геометрические параметры завесы.

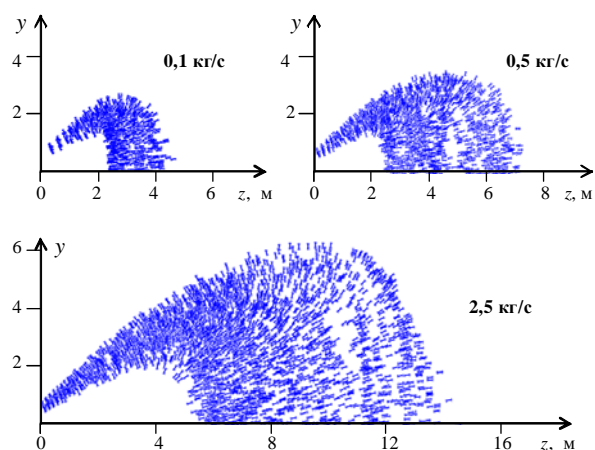


Рис. 2. Зависимость размера водяной завесы от массового потока капель (указан в правом верхнем углу каждого графика).

Интересной и важной представляется также зависимость траекторий капель и связанных с ней формы и размеров завесы от размера капель. Реальные водяные завесы состоят из капель разных размеров, которые подвержены влиянию воздушных потоков в разной степени. Кроме того, генерация воздушных потоков также зависит от размера капель. Поэтому необходимо было установить, насколько эта зависимость является существенной. Можно было предположить, что при возрастании диаметра капель размер завесы будет монотонно возрастать, поскольку сила сопротивления воздуха будет в меньшей степени влиять на скорость капли. Однако результаты расчетов показали совершенно другую зависимость (рис. 3).

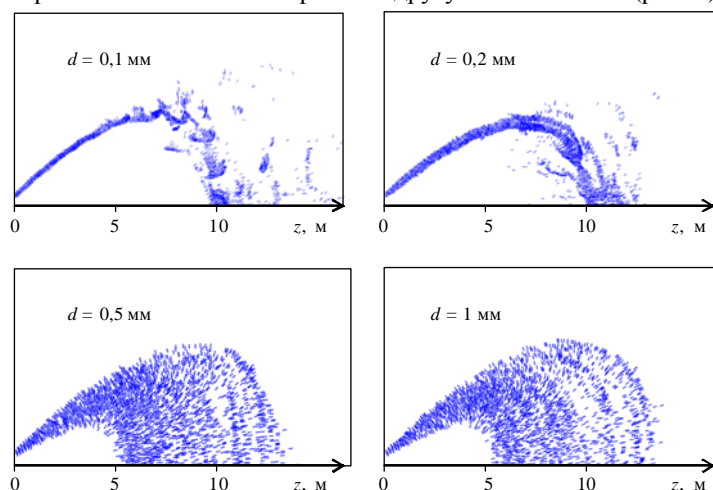


Рис. 3. Зависимость формы водяной завесы от диаметра капель.

Согласно полученным результатам, максимальная длина водяной завесы практически не зависит от диаметра капель. В то же время, наблюдается ярко выраженная зависимость ее формы. Обращает на себя внимание отсутствие расходимости потока капель на его начальном участке для диаметров капель 0,1 мм и 0,2 мм, т.е. поток на этом участке является практически параллельным. В то же время, расходимость потока для диаметров 0,5 мм и 1 мм на начальном участке соответствует заданной в граничных условиях, т.е. около 12° (диапазон углов $30^\circ - 42^\circ$). Граничные условия по этому параметру задавались одинаково для всех диаметров.

Для объяснения такого поведения водяной завесы здесь также рассмотрено влияние на траектории капель движения воздушных масс. С этой целью на рис. 4 приведено векторное поле скоростей воздуха для диаметра капель 0,1 мм в вертикальной плоскости, проведенной через середину завесы.

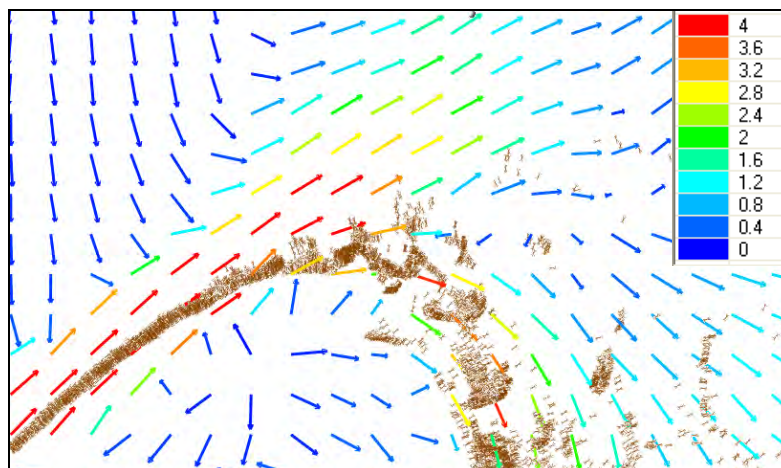


Рис. 4. Векторное поле скоростей воздуха в вертикальной плоскости, соответствующее рис. 3 для $d = 0,1$ мм.

На рис. 4 можно увидеть быстрый поток воздуха в направлении движения капель и вихри со значительно меньшими скоростями, сжимающие струю капель сверху и снизу на ее начальном участке. Это качественно объясняет особенности формирования водяной завесы для разных размеров капель. Для очень мелких капель действует такой же эффект самофокусировки за счет генерируемых каплями воздушных потоков, что и рассмотренный выше для горизонтальной плоскости. Более массивные капли сохраняют высокую скорость относительно воздуха на большей длине траектории и поэтому менее подвержены влиянию воздушных потоков. Наличие мощного попутного потока воздуха в плоскости водяной завесы наиболее сильно влияет на увеличение длины траекторий мелких капель. Крупные капли, как показывает расчет (рис. 3), имеют траектории практически такой же длины, но уже за счет собственной начальной кинетической энергии.

В дальнейшем предполагается выполнить количественные и более подробные расчеты для рассмотренных процессов. Кроме того, необходимо рассмотреть водяные завесы других пространственных форм. Также представляют большой интерес расчеты процессов теплового экранирования с помощью водяных завес.