

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ВОДЯНОЙ ЗАВЕСЫ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FLOWVISION

RESEARCH OF PROCESS OF FORMATION OF AQUATIC CURTAIN BY MEANS OF FLOWVISION PROGRAM COMPLEX

Виноградов А. Г.

Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля (Черкассы, Украина)

Abstract

By means of program complex FlowVision computer modelling of interaction of a stream of water drops with the air environment in the course of formation of a aquatic curtain is executed.

Keywords: aquatic curtain, air environment, computer modeling.

ВВЕДЕНИЕ

Водяные завесы широко применяются в современных стационарных системах противопожарной защиты, а также являются одним из средств защиты людей и техники во время тушения пожаров [1, 2]. Водяная завеса – это поток распыленной воды, состоящий из мелких капель, способный частично или полностью отделить одну область пространства от другой. Она создается с помощью преобразования сплошной скоростной водяной струи в мелкодисперсную с помощью специальных насадок на пожарный ствол (мобильная завеса) (рис. 1) или дренчерных оросителей специальной формы (стационарная завеса) (рис. 2).

Водяные завесы выполняют функции охлаждения и предотвращения распространения пожара и его опасных факторов через оконные, дверные и технологические проемы, а также для обеспечения безопасных условий для эвакуации людей из горящих помещений.

До настоящего времени отсутствуют теоретически обоснованные методики расчета режимов формирования водяных завес, которые бы позволили определить расчетным путем их основные параметры: геометрические размеры в различных условиях, пространственное распределение концентрации капель, взаимодействие с воздушными и тепловыми потоками, влияние

технических параметров, методы их оптимизации.

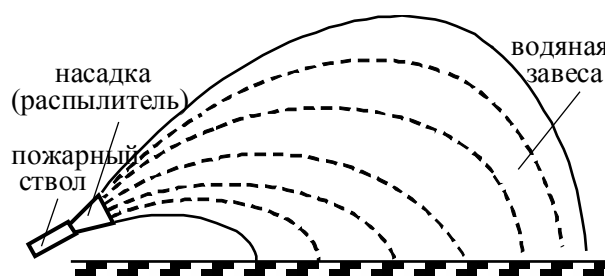


Рис. 1. Мобильная водяная завеса, создаваемая с помощью специальной насадки на пожарный ствол

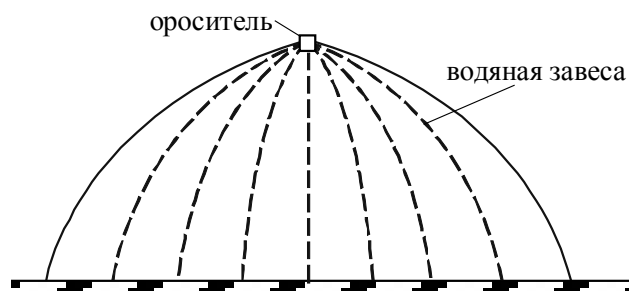


Рис. 2. Стационарная водяная завеса, создаваемая с помощью дренчерного оросителя

Попытки решить подобные задачи чисто аналитическим путем, с помощью решения соответствующих математических уравнений [3-5], не позволяют получить адекватные

результаты вследствие большого количества взаимозависимых переменных величин. В печати появляются сообщения об экспериментальных исследованиях некоторых свойств распыленных водяных струй (см., например, [6-7]). Однако и они могут дать ответ далеко не на все поставленные вопросы. Ведь в данном случае речь идет об исследовании процессов в сплошных двухфазных средах, о пространственных распределениях скалярных и векторных полей, о нестационарных процессах с достаточно быстрой динамикой, а такие исследования являются весьма сложными для эксперимента.

Следует отметить, что на эксплуатационные характеристики водяной завесы оказывают существенное влияние очень большое количество различных параметров. К ним относятся размеры капель (средний размер и функция распределения по размерам), их начальные скорости (средняя скорость и функция распределения по скоростям), отклонение формы капель от сферической, начальная угловая диаграмма направленности потока капель, начальное пространственное распределение этого потока. К этому следует добавить возникающие при вязком взаимодействии с каплями воздушные потоки, а также воздушные потоки, существующие независимо от капель. Они имеют весьма сложное пространственное распределение и оказывают на формирование водяной завесы очень сильное влияние, особенно в ее периферийной части, где скорости капель вследствие их торможения в воздушной среде уже достаточно малы. Если добавить к этому турбулентность, которая в некоторых случаях также имеет место, то сложность процессов формирования водяных завес становится еще более очевидной.

Учитывая вышесказанное, можно сделать однозначный вывод о практической невозможности достаточно подробного, с достаточно малыми пространственным и временным шагом, экспериментального исследования названных процессов.

Появление в последние годы мощных компьютерных программ для комплексных расчетов процессов в сплошных средах создает новые возможности для выполнения исследований, которые ранее отсутствова-

ли. Компьютерное моделирование позволяет исследовать сложные многофакторные процессы, с учетом их взаимного влияния, сколь угодно подробно, в любом диапазоне начальных и граничных условий. Что же касается возможной неадекватности заложенных в их основу математических уравнений, то для их проверки достаточно выполнить некоторые критические эксперименты, которые позволяют уточнить математическую модель и, возможно, определить расчетные коэффициенты.

В данной работе для исследования процессов формирования водяной завесы применяется программный комплекс FlowVision, поскольку заложенный в него многообразный инструментарий соответствует требованиям поставленной задачи по исследованию динамики водяных завес. Здесь представлен лишь начальный этап исследования, в котором необходимо получить качественные результаты с целью определения основных тенденций при изменении режима формирования водяной завесы, а также выявить наиболее важные из действующих факторов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В среде FlowVision выполнено моделирование процесса формирования водяной завесы, созданной с помощью щелевой насадки на пожарный ствол. Для моделирования потока капель использовалась модель лагранжевых частиц. Расчетная область была задана в виде достаточно большого параллелепипеда размером $10 \times 10 \times 20 \text{ м}^3$, 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. Поскольку стартовые точки в пределах источника частиц расположены в строгом геометрическом порядке, это приводило к чрезмерному упорядочиванию дальнейшего движения частиц. Чтобы избежать этого и внести естественную хаотичность в этот процесс, процент рабочих стартовых точек задавался достаточно низким (3-5%).

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 – 0.5 мм;
 - N старт точек – 100;
 - % старт точек – 3;
 - угол распыла (горизонтальная плоскость) – $\pm 12^\circ$;
 - угол распыла (вертикальная плоскость) – $(30-42)^\circ$;
 - начальная скорость – 30 м/с.

Эти условия изменялись соответствующим образом при исследовании зависимости свойств водяной завесы от какого-либо из этих параметров.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Расчет траекторий капель выполнялся для интервала реального времени (от начала подачи потока) около 40 секунд. При этом производилась фиксация состояний пост-процессора 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. 3 и 4 представлены 2 вида завесы (соответственно сбоку и сверху) на заключительной стадии расчета.

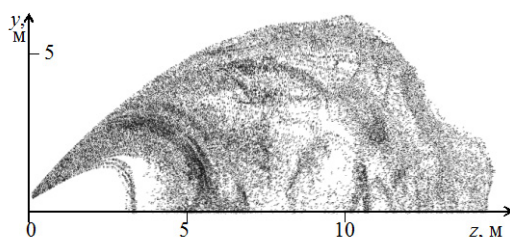


Рис. 3. Результат расчета траекторий капель водяной завесы (вид сбоку)

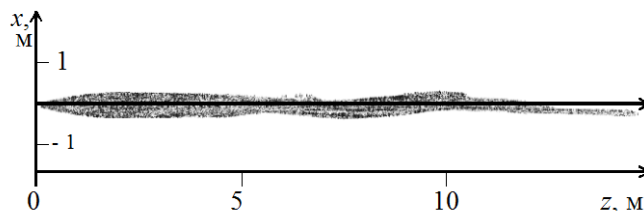


Рис. 4. Результат расчета траекторий капель водяной завесы (вид сверху)

Обращает на себя внимание существенное уменьшение толщины водяной завесы по мере удаления от источника капель (рис. 4). 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. 5 представлены векторные поля скоростей воздуха (горизонтальных составляющих вектора скорости) в трех горизонтальных плоскостях, расположение которых показано в нижней части рисунка. Высота плоскостей над нулевым уровнем соответственно равна 1 м, 3,5 м и 6 м.

Представленные векторные поля показывают встречные воздушные потоки, направленные к вертикальной плоскости завесы, которые сжимают ее с двух сторон. Анализ рисунков позволяет сделать вывод, что поток быстрых капель вблизи их источника создает воздушные вихри, которые сжимают водяную завесу и уменьшают ее толщину. Сжатие является наиболее существенным 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 начального движения капель, который относит капли на значительное расстояние от источника, увеличивая общую длину завесы.

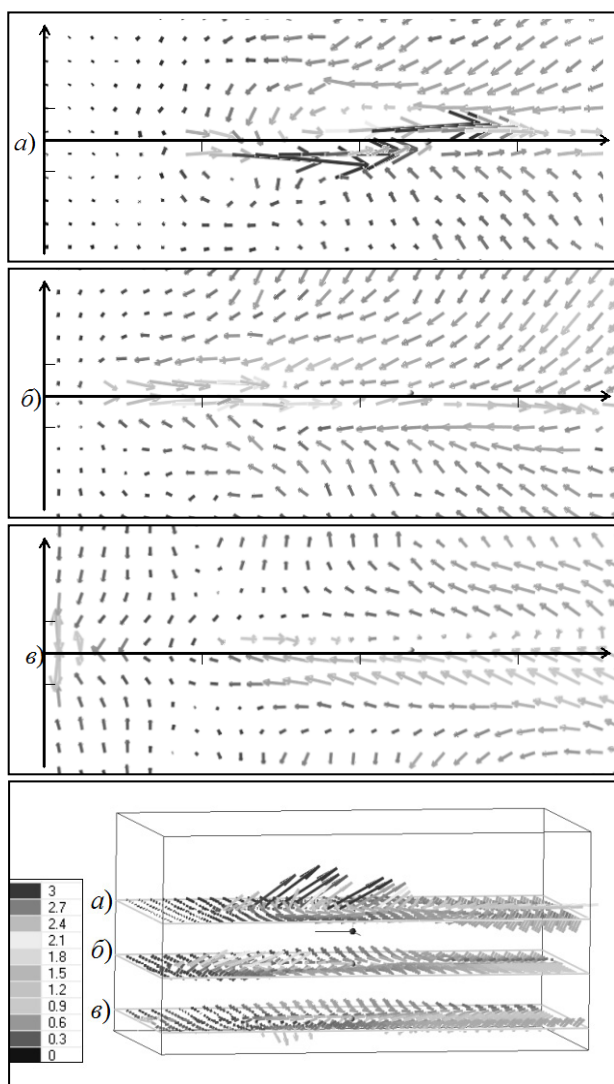


Рис. 5. Векторные поля скоростей воздуха в трех плоскостях. В нижней части рисунка показано положение плоскостей в расчетной области и шкала соответствия палитры цветов значениям скоростей (м/с). Масштаб осей соответствует рис. 4

Аналитические расчеты траекторий капель с такими же параметрами (диаметр, величина и угол начальной скорости), выполненные в предположении неподвижного воздуха [3], дают значение длины траектории около 4 м. В данном же случае была получена максимальная длина около 15 м (см. рис. 3), т.е. почти в 4 раза больше, что может быть объяснено только влиянием воздушных потоков.

Мощность воздушных потоков, вполне очевидно, зависит от количества капель, то есть от их массового потока. Для исследования этой зависимости в среде FlowVision были выполнены расчеты траекторий ка

пель завесы для трех разных массовых потоков, не изменяя другие параметры (диаметр капель, начальная скорость, начальные углы). На рис. 6 представлен результат расчета, который наглядно демонстрирует эту зависимость и подтверждает существенное влияние воздушных потоков, созданных завесой, на геометрические параметры завесы.

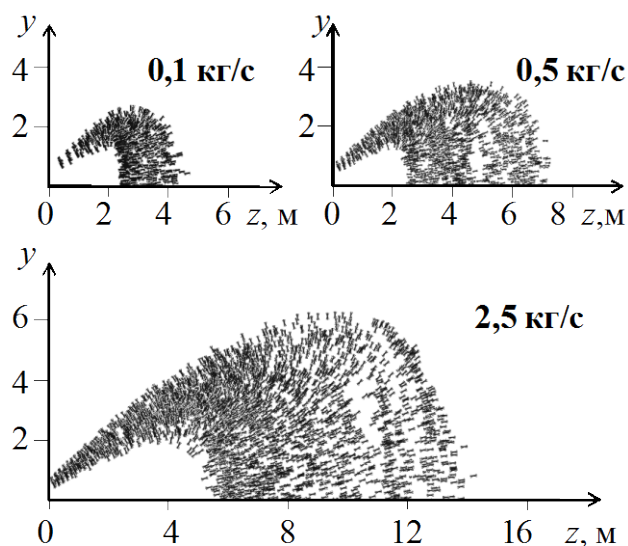


Рис. 6. Зависимость размера водяной завесы от массового потока капель

Важной является 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. Генерация воздушных потоков также зависит от размера капель. Поэтому необходимо установить, насколько эта зависимость является существенной. Еще до выполнения расчетов интуитивно можно было предположить, что зависимость размеров завесы от диаметра капель качественно будет подобной зависимости от массового потока, представленной на рис. 6. Т.е. 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. 7).

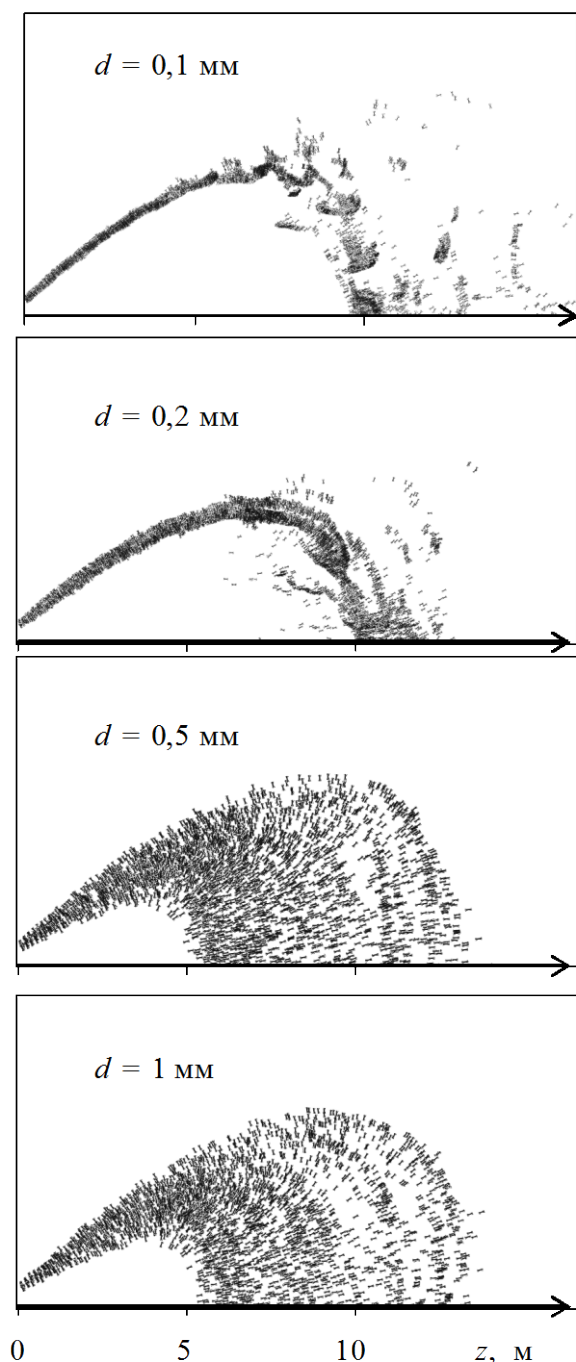


Рис. 7. Зависимость формы водяной завесы от диаметра капель

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 на-

чальном 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 капель.

Единственным объяснением такого поведения водяной завесы было, как и в рассмотренном выше случае, влияние на траектории капель движения воздушных масс. Для подтверждения этого предположения на рис. 8 приведено векторное поле скоростей воздуха для диаметра капель 0,1 мм в вертикальной плоскости, проведенной через середину завесы.

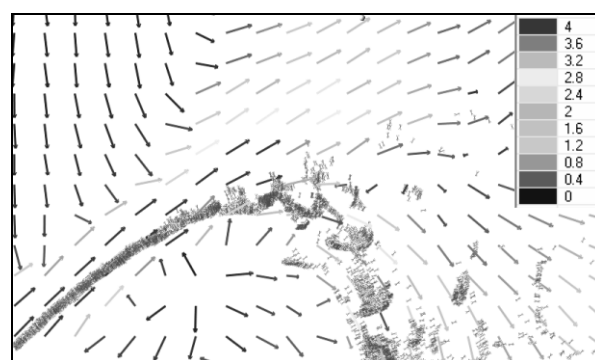


Рис. 8. Векторное поле скоростей воздуха в вертикальной плоскости, соответствующее рис. 7 для $d=0,1$ мм. Палитра цветов векторов соответствует значениям скоростей воздуха (м/с). Диаграмма представлена в режиме постоянной длины векторов

Представленная на рисунке картина показывает быстрый поток воздуха в направлении движения капель и вихри со значительно меньшими скоростями, сжимающие струю капель сверху и снизу. Такой характер движения воздушных масс качественно объясняет особенности формирования водяной завесы для разных размеров капель. Отсутствие расходимости потока капель для меньших диаметров можно объяснить тем, что для мелких капель действует такой же эффект самофокусировки за счет генерируемых каплями воздушных потоков, что и рассмотренный выше для горизонтальной плоскости. 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 траек-

торий мелких капель. Крупные капли, как показывает расчет (рис. 7), имеют траектории практически такой же длины, но уже за счет собственной начальной кинетической энергии.

ВЫВОДЫ

С помощью программного комплекса FlowVision получены качественные результаты, позволяющие объяснить важную роль движения воздушных масс, возникающего при их взаимодействии с потоком водяных капель, в формировании водяной завесы. При рассмотрении этого процесса нельзя рассматривать траектории капель без учета движения воздуха, вызванного вязким взаимодействием воздушных масс с движущимися каплями. При этом необходимо учитывать и обратную связь: влияние движения воздуха на траектории капель. Таким образом, любая математическая модель данного процесса должна исходить из комплексного рассмотрения законов движения соответствующей двухфазной среды.

Полученные результаты носят предварительный характер и предполагают дальнейшие исследования в таких направлениях:

- 1) получение количественных результатов в среде FlowVision в виде зависимостей эксплуатационных характеристик водяной завесы (размеры, концентрация, пространственное распределение капель) от ряда параметров (начальная скорость, массовый поток, распределение по диаметрам, начальные углы и др.);
- 2) решение задач оптимизации свойств водяной завесы относительно данных параметров для различных условий ее практического применения;
- 3) исследование процессов взаимодействия распыленной воды с тепловыми потоками

ми с целью изучения экранирующих свойств водяных завес;

- 4) создание упрощенной математической модели с целью получения простых формул для практического расчета режимов применения водяных завес;
- 5) постановка критических экспериментов с целью проверки адекватности результатов компьютерного и математического моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Оросители водяных и пенных автоматических установок пожаротушения / Л.М. Мешман, С.Г. Цариченко, В.А. Былинкин, В.В. Алешин, Р.Ю. Губин; Под общ. ред. Н.П. Копылова. – М.: ВНИИПО, 2002. – 315с.
- [2] Жаров А., Зархин А., Митрофанова М. Дренчерные завесы: теория и практика// БДИ. – 2006. – № 5 (68). – с. 24-28.
- [3] Виноградов А.Г. Розрахунки траєкторних параметрів крапель водяної завіси у вертикальній площині // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», сер. Машиностроение. – 2008. – №53. – с. 84-88.
- [4] Виноградов А.Г. Розрахунок векторного поля швидкостей крапель водяної завіси // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2008. – №2 (49). Частина 2 – с. 42-44.
- [5] Виноградов А.Г. Теоретический анализ пространственного распределения концентрации капель водяной завесы // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – т. 19. – №1 – с. 45-49.
- [6] Дауэнгауэр С.А. Пожаротушение тонкораспыленной водой: механизмы, особенности, перспективы // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. – т. 13. – №6. – с. 78-81.
- [7] Гергель В.И. Пожаротушение тонкораспыленной водой: современное состояние дел и перспективы развития // Противопожарные и аварийно-спасательные средства. – Июнь-июль 2007. – с. 10-15.