

УДК 614.843

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ И ДРУГИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖАРНЫХ СТРУЙ С ПОМОЩЬЮ ФОТОСЪЕМКИ

А. В. Потеха¹, А. И. Ковалев^{2*}, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., А.В. Грушовинчук³, канд. техн. наук

¹ Гродненский государственный аграрный университет, Беларусь

² Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты, Украина

³ Государственный центр сертификации ГСЧС Украины

ИНФОРМАЦИЯ ПРО СТАТЬЮ

Предоставлена в редакцию: 28.04.2017

Прошла рецензирование: 19.06.2017

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

пожарная струя, фотосъемка, геометрические характеристики, траектория, лафетный ствол.

АННОТАЦИЯ

Во введении указан предмет исследования – геометрические характеристики водяных струй, формируемых лафетными стволами, и обозначена проблема, заключающаяся в сложности их экспериментального определения, поскольку встречающиеся упоминания существующей методики с использованием фотосъемки не содержат описания анализа фотоизображений, а лишь отмечается сам его факт.

Целью исследования является разработка методики определения экспериментальных траекторий и других геометрических характеристик пожарных струй, которая предусматривает фиксирование их положения в воздухе с помощью фотосъемки. Определение геометрических характеристик струи по фотоснимкам выполняется на основании оптических свойств фотообъектива с учетом того, что при съемке удаленных предметов величина их изображения пропорциональна фокусному расстоянию. В основной части работы приводится описание предусмотренных методикой этапов обработки изображений и расчетов фактических геометрических характеристик струи. По итогам проведенных исследований получены зависимости, позволяющие рассчитывать вертикальные и горизонтальные координаты частиц наклонной струи для воспроизведения ее месторасположения в выбранных масштабе и системе координат. На примере показана практическая реализация разработанной методики. Проведена оценка наличия аберраций используемого фотооборудования и их влияния на итоговые результаты.

В заключении отмечается возможность использования разработанной методики для оценки расположения гидравлической струи в воздухе, формируемой лафетными стволами, и нахождения ее геометрических характеристик, например, построения траектории и определения максимальной дальности струи.

Введение. Расчет траектории гидравлической струи с учетом изменения ее сплошности заключается в определении высоты и дальности полета в зависимости от угла наклона насадка ствола, а также радиусов действия компактной и раздробленной части струи [1]. Однако для обеспечения современной противопожарной защиты высокопролетных сооружений учета только этих параметров недостаточно и возникает необходимость в определении других характеристик струи, наиболее значимыми из которых являются горизонтальные и вертикальные координаты, описывающие ее траекторию, получаемые для различных углов

наклона оси насадка лафетного ствола (ЛС) к горизонту. Аналитическое определение указанных параметров существенно затруднено по причине большого числа факторов, влияющих на движение свободной гидравлической струи в воздухе, а адекватные математические модели для оценки влияния действующих на нее силы тяжести, сопротивления воздуха и внутренних сил до сих пор отсутствуют. В настоящее время расчет траекторий струи основывается на эмпирических данных [2].

В литературных источниках можно встретить упоминания натуральных испытаний пожарного оборудования (в частности,

*E-mail: naucovec@ukr.net

лафетных стволов) и их результатов с целью определения геометрических характеристик струй. Наиболее распространенный вариант – фотосъемка водяной струи с последующей обработкой полученных данных. Такие фотографии приводятся в [3] и [4]. Однако в приведенных источниках не рассматриваются способы обработки полученных фотоснимков, что делает невозможным анализ и воспроизведение аналогичных экспериментов.

С целью получения данных о движении струи жидкости и изменении ее геометрических характеристик были проведены экспериментальные исследования, которые заключались в определении фактических геометрических характеристик гидравлических струй, формируемых лафетными стволами пожарных роботов [5].

Целью настоящей работы являлась разработка методики определения экспериментальных траекторий и других геометрических характеристик пожарных струй, которая предусматривает фиксирование их положения в воздухе с помощью фотосъемки. При этом струи выпускались из лафетных стволов пожарных роботов под различными углами наклона насадка лафетного ствола к горизонту (диапазон от 10° до 90° с шагом изменения 10°) при условии изменения давления у лафетного ствола в рабочем диапазоне (от 0,4 до 0,8 МПа для ЛС с номинальным расходом 20 л/с; от 0,4 до 0,8 МПа для ЛС с номинальным расходом 40 л/с; от 0,6 до 1,0 МПа для ЛС с номинальным расходом 60 л/с) [6].

Методика исследований.

При подготовке и проведении испытаний пожарного оборудования использовались базовые положения нормативных документов, регламентирующих общие технические требования и методы испытаний пожарных лафетных стволов. Стационарные лафетные стволы монтировались на опоре с трехходовым разветвлением для подвода огнетушащего вещества (воды). Подача воды к лафетным стволам осуществлялась от пожарных автоцистерн и пожарной насосной станции по рукавным линиям с забором воды из открытого водоемника (озера). Для измерения давления перед лафетным стволом применялся манометр класса точности 0,6 с диапазоном измерений – 0,1...1,6 МПа (погрешность измерений $\pm 0,05$ МПа). Скорость ветра при испытаниях определялась с помощью анемометра крыльчатого типа и не превышала 3 м/с. Задание и измерение углов проводились

угломером, а также с помощью тригонометрических вычислений (с точностью до 1°). При определении дальности (максимальной, по крайним каплям) водяных струй пожарный ствол устанавливался под углом наклона к горизонту 30° в рабочем положении по назначению (на опоре).

Перед фотофиксацией пожарной струи в соответствии с выбранными диапазонами рабочих параметров для каждого лафетного ствола устанавливались:

- давление у ствола;
- угол наклона оси насадка ЛС к горизонтальной плоскости;
- точка фотосъемки (точка А, рисунок 1) с выбором фокусного расстояния объектива (уточнялись для каждого лафетного ствола в зависимости от его номинального расхода с учетом ожидаемой максимальной дальности струи при заданном угле наклона насадка).

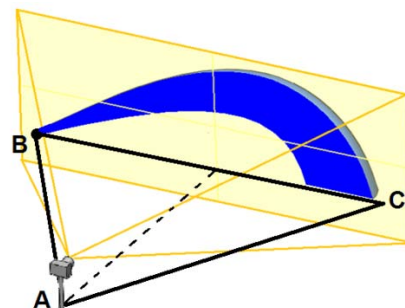


Рисунок 1 - Схема фотофиксации наклонной водяной струи

При определении геометрических характеристик водяных струй использовались непосредственные измерения, а также измерения на основании данных, полученных с помощью фотосъемки. Дальность струи измерялась от проекции насадка ствола на испытательную площадку. Высота вертикальной струи определялась от насадка лафетного ствола. При определении действительных вертикальных и горизонтальных координат струи огнетушащего вещества по изображениям учитывалось выбранное фокусное расстояние объектива фотоприемника, месторасположение лафетного ствола и высота его насадка над уровнем горизонтальной плоскости (плоскости площадки), размещенные в плоскости траектории струи маркеры для отсчета горизонтальных координат (далее – маркеры дальности), служащие дополнительными ориентирами, а также расстояние от точки

фотосъемки до плоскости расположения траектории струи.

Определение геометрических характеристик струи на основании оптических свойств фотообъектива заключалось в следующем.

Фотообъектив представляет собой собирательную центрированную оптическую систему, т. е. такую систему, в которой центры всех составляющих ее линз лежат на одной прямой линии и которая преломляет падающие на нее лучи в направлении к центру, т. е. «собирает» их [7]. Истинный ход лучей в объективе, который состоит из множества линз

и оптических узлов, достаточно сложен. Однако в принципе объектив работает, как обыкновенная положительная линза. Поэтому для упрощения расчетов допустимо мысленно заменить все оптические элементы объектива и их группы единственной собирающей линзой, преломляющая сила которой соответствует преломляющей силе объектива в целом. При этом действие всех преломляющих поверхностей объектива сводится к действию главных плоскостей воображаемой линзы. Образование изображения при помощи объектива схематически показано на рисунке 2.

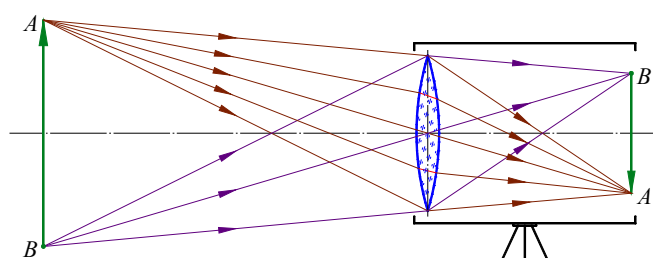
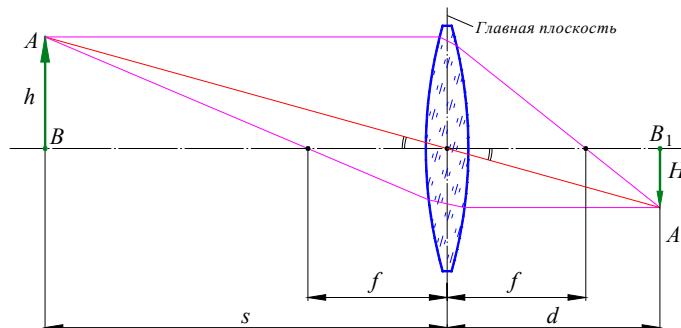


Рисунок 2 - Схема образования изображения объективом

Принято считать, что любой объект, расположенный на достаточно большом расстоянии от объектива, удален от него на

бесконечность [8]. Схема хода лучей в объективе фотоаппарата представлена на рисунке 3.



s – расстояние от объектива (линзы) до объекта, d – расстояние от линзы до изображения объекта (на матрице),

f – фокусное расстояние; h – линейный размер объекта съемки, H – размер уменьшенного изображения объекта съемки

Рисунок 3 - Упрощенная схема хода лучей в объективе фотоаппарата

Фокусное расстояние объектива определяет масштаб изображения на снимке. При съемке удаленных предметов величина их изображения пропорциональна фокусному расстоянию. Для рассматриваемого случая указанная взаимосвязь описывается формулой [9]

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f}. \quad (1)$$

С учетом геометрических зависимостей между параметрами s, d, f, H и h , следующих из рисунка 3, формула (1) преобразуется к виду

$$1 + \frac{h}{H} = \frac{s}{f}. \quad (2)$$

Учитывая, что поставленная задача заключается в том числе и в определении вертикального линейного размера объекта съемки (например, вертикальной координаты для точки траектории гидравлической струи),

из формулы (2) получаем выражение для нахождения параметра h

$$h = H \left(\frac{s}{f} - 1 \right). \quad (3)$$

Параметры, располагающиеся в правой части выражения (3), определяются следующим образом.

Расстояние s от фотокамеры (объектива) до объекта определяется исходя из геометрической схемы испытаний (рисунок 1), которую для удобства расчета значения s можно представить следующим образом (рисунок 4).

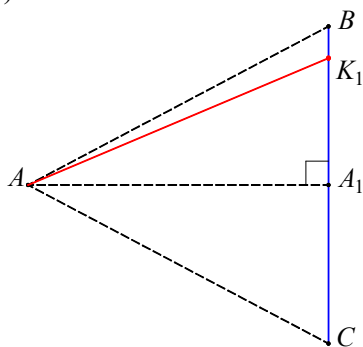


Рисунок 4 - Расчетная схема для определения расстояния s от объектива до объекта

Согласно схеме (рисунок 4) при рассмотрении произвольной точки струи K_1 расстояния s (отрезок AK_1) определяется геометрически с учетом месторасположения лафетного ствола (точка B) и расстояния (отрезок AA_1) от точки фотосъемки (точка A) до плоскости расположения траектории струи (отрезок BC).

Значение фокусного расстояния f объектива определяется из метаданных фотоснимка (EXIF), которые добавляются к изображению фотоаппаратом при съемке автоматически и поясняют это фотоснимок (название и настройки камеры, дата, размеры и разрешение изображения, фокусное расстояние и т. д.).

Параметр H (точный линейный размер изображения объекта на самой матрице фотоаппарата) находится с учетом размера матрицы и ее разрешения. Наиболее удобно выполнить эту операцию с помощью графических редакторов (программного

обеспечения, предназначенного для работы с изображениями).

С помощью программы *Adobe Photoshop CC* данная задача решается следующим образом. С целью соблюдения исходного масштаба фотоснимка корректируем размер изображения (подпункт "Размер изображения..." пункта "Изображение" основного меню программы) путем задания корректного значения разрешения (в единицах измерения пиксели/сантиметр), которое получается путем деления количества пикселей по одной из сторон снимка на физический размер матрицы этой же стороны. При выполнении данных вычислений значения разрешений изображения, полученные для обеих сторон матрицы, должны получиться идентичными.

Далее, например, при помощи инструмента "Линейка", измеряем высоту фотографируемого объекта на изображении. При определении размеров небольших объектов на фотографии целесообразно выбрать в качестве единиц измерения "Линейки" проценты либо пиксели, а потом пересчитать их в единицы длины (см или мм), поскольку по умолчанию точность измерения расстояний в программе предусмотрена в пределах 0,1 мм или 0,01 см.

В результате подстановкой в выражение (3) найденных значений s , f и H находится искомый размер h .

Основная часть. Наиболее трудоемким процессом определения геометрических характеристик водяных струй с помощью данных фотосъемки является построение траектории частиц наклонной струи. Рассмотрим его более подробно.

Построение траектории частиц струи по фотоснимку выполняется в несколько этапов.

Этап 1. Выбор исходного изображения (рисунок 5).

Этап 2. Нанесение ограничивающих кривых (верхней и нижней) струи, лимитирующих ее расположение в плоскости, перпендикулярной съемке.

На выбранное изображение в соответствии со схемой (рисунок 1) наносятся кривые, повторяющие контур струи в зафиксированном на снимке положении в плоскости, проходящей через ее ось (рисунок 6).



Рисунок 5 - Исходное изображение

Этап 3. Определение координат частиц струи в произвольно выбранной точке и оценка влияния оптических искажений на итоговый результат.

Основная задача объектива для фотосъемки – максимально четкое и точное воспроизведение изображения объекта на пленке или матрице при цифровой съемке.

Оптические системы (в том числе и объектив фотоаппарата) обладают аберрациями, т. е. отступлениями от свойств идеальной системы, поэтому получаемые с помощью них изображения предмета, расположенного в плоскости, перпендикулярной оптической оси, не остаются геометрически подобными самому предмету.

Существует мнение, что в отличие от некоторых других оптических систем в фотообъективе исправляют все аберрации [10]. Достигают этого путем применения в объективах двух и более линз, которые в комбинации с другими оптическими узлами позволяют уменьшить требования к их аберрационной коррекции за счет частичной взаимной компенсации аберраций [11]. Однако, чаще всего, аберрации оптических систем нельзя устранить, кроме редких частных случаев. Тем не менее, аберрации можно уменьшить (исправить) до требуемой величины, чтобы пятно рассеяния или искажения формы не превышали допустимого размера.

С точки зрения решаемой задачи, наибольший интерес будут представлять монохроматические аберрации, характеризующие отступление реальных координат изображения систем от идеальных для лучей определенной длины волны, которую называют основной [12]. К таким аберрациям относятся: сферическая аберрация, кома, астигматизм, кривизна поля изображения, дисторсия.



Рисунок 6 - Изображение осесимметричной струи с ограничивающими кривыми

Учитывая тот факт, что сферическая аберрация, кома, астигматизм и кривизна поля нарушают резкость изображения и приводят к его рассеянию, а полученные фотографии обладают достаточной глубиной резкости, можно заключить, что в используемом фотообъективе аберрации данных типов уменьшены, в связи с чем достигнуто формирование изображения высокого уровня. В подтверждение этого предположения можно привести тот факт, что все современные фотографические объективы являются анастигматами – объективами, в которых исправлены практически все аберрации, в том числе астигматизм и кривизна поля изображения [10].

В итоге можно сделать вывод, что наибольшее влияние на определение реальных размеров по фотоснимкам будут оказывать искажения перспективы и дисторсия, которые можно отнести к оптическим искажениям объективов.

Оценим искажения перспективы, проявляющиеся при фотографировании, связанные с проецированием объекта в трехмерном пространстве на плоскость.

Отмечается, что правильное представление о соотношении видимых форм, размеров и взаимном расположении отдельных частей изображенного пространства можно получить при рассмотрении плоского перспективного изображения не только из центра перспективы, но если при этом известен хотя бы один из изображенных предметов; в последнем случае представляется возможным опознать истинные размеры изображенного [13].

Проверка влияния искажений перспективы на истинные размеры объектов, определяемые по фотоснимку, выполняется с использованием горизонтальной шкалы, которая строится по имеющимся в плоскости струи маркерам дальности, расстояние между которыми составляет 5 м. Для этого на фотоснимке

проводятся вертикальные линии (рисунок 7), проходящие через соответствующие маркеры, и измеряются расстояния между ними (таблица). Измерения в рассматриваемом примере

выполняются в графическом редакторе изображений *AdobePhotoshopCC* с помощью инструмента "Линейка".



Рисунок 7 - Изображение с горизонтальной шкалой по маркерам дальности

Таблица 1 - Результаты измерений расстояний между маркерами по изображению

Участок	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6	6–7	7–8	Среднее значение
Расстояние на фотоснимке, пк	368	368	369	372	373	361	357	366,9

Проанализировав таблицу, можно сделать вывод о том, что погрешность измерений расстояний по фотоснимку в горизонтальном направлении не превышает 2,8 % на рассматриваемом участке длиной 5 м. В рамках задач исследования такую погрешность можно принять за допустимое значение.

Допустимые погрешности перспективы могут быть объяснены тем фактом, что при ведении съемки с большого расстояния от объекта, углы наклона оптической оси объектива настолько незначительны, что резких перспективных сокращений не образуется [14].

Рассмотрим дисторсию изображения, вызванную несовершенством объектива. В отличие от остальных монохроматических aberrаций дисторсия не вызывает размытия изображения точек, а приводит к смещению их положения в радиальном направлении.

Отмечается, что геометрические aberrации (в том числе и дисторсия) проявляются по краям кадра. Если в фотокамере используется матрица APS-C, то следует учитывать кроп-фактор (отношение линейного размера кадра к полю стандартного 35-миллиметрового пленочного кадра) – матрица будет использовать лишь часть светового потока, проходящего через объектив. Таким образом, разница между кадром 35-миллиметровой пленки, на которую рассчитан этот объектив, и

площадью матрицы APS-C остается незадействованной и «отсекается», и на матрицу попадает только центральная часть изображения. Следовательно, края, на которых объектив обычно ухудшает изображение, как раз отсеиваются [15].

Также можно отметить, что интересующий нас участок фотографии со струей размещен в центральной части кадра, в связи с чем можно заключить, что имеющиеся искажения значительного влияния на результаты измерений не оказывают.

Данное предположение может быть проверено на практике путем фотографирования объекта с известными размерами («эталоны») и оценки присутствующих на фотоснимке искажений при одинаковых условиях съемки (фокусное расстояние, расстояние до объекта и т. д.).

При фотографировании струи наиболее неблагоприятным вариантом с точки зрения величины искажений геометрических размеров фиксируемых объектов будет случай вертикального или близкого к нему выпуска водяной струи.

Так, для оценки существующих искажений при фотографировании струи, выпускаемой из насадка лафетного ствола под углами от 70 до 90 градусов, в качестве «эталоны» используется многоэтажное здание. Были сделаны снимки в соответствии с условиями фотографирования

водяных струй: фокусное расстояние 18 мм, расстояния до объекта съемки 90 м и 120 м (рисунок 8). Для удобства оценки искажений на

фотоснимке нанесена сетка, которая позволяет оценить отклонение от нее присутствующих на торцевой стене здания швов между панелями.

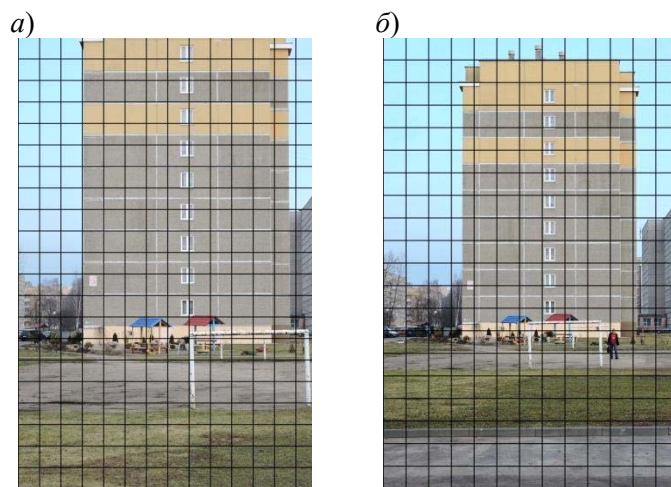


Рисунок 8 - Фотография «эталонного» объекта с расстояния 90 м (а), 120 м (б) для оценки величины присутствующих на снимке искажений

Анализируя полученные изображения можно сделать вывод, что имеющие на нем место искажения существенным образом не влияют на результаты измерения геометрических размеров.

Учитывая вышеизложенное, можно утверждать, что с помощью вертикальных линий координатной сетки, построенных по маркерам дальности, возможно с достаточной степенью точности определить горизонтальные координаты частиц гидравлической наклонной струи.

Вертикальные координаты определяются для последовательности точек, по которым можно воспроизвести ограничивающие струю кривые, показанные на рисунке 6.

Алгоритм определения координат частиц струи следующий.

а) Определяются основные характеристики используемого для получения изображений

оборудования – фотокамеры Canon EOS 1000D с объективом Canon EF-S:

- физический размер матрицы – 22,2×14,8 мм;
- формат матрицы – APS-C;
- кроп-фактор – 1,62;
- разрешение матрицы – 3888 пк × 2592 пк.

Для соблюдения исходного масштаба рассматриваемого фотоснимка корректируем размер изображения – определяем разрешение изображения расчетом по длинной стороне снимка: $3888/2,22 = 1751$ пк/см. В программе *Adobe Photoshop CC* корректируем размер изображения – указываем найденное значение в соответствующем поле "Разрешение" (рисунок 9). При выборе для параметров пересчета "Ширина" и "Высота" значения 100 % итоговые размеры печатного оттиска изображения примут значения размеров матрицы 2,22 см × 1,48 см, что подтверждает верность суждений.

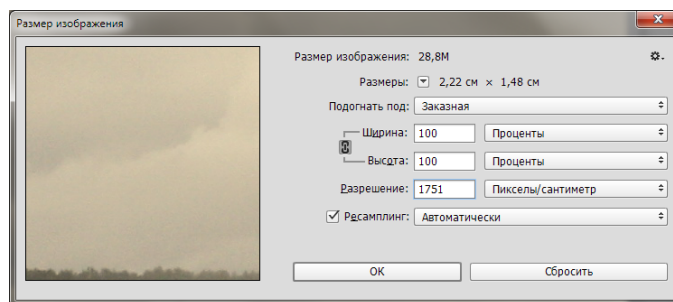


Рисунок 9 - Окно графического редактора с параметрами изображения

б) На аналізованій фотоснімці вибирається прямокутна система координат, початок якої (точка O , рисунок 10) представляє собою перетин вертикальної

осі y , що проходить через насадок лафетного ствола, і горизонтальної осі x , що проходить перпендикулярно лафетному стволу і паралельно основанню іспитальної площадки.

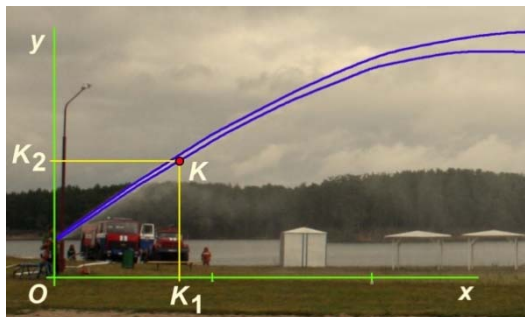


Рисунок 10 - Проекції точки K на координатні осі

в) На кривій, яку необхідно побудувати, вибирається відповідна точка (наприклад, точка K).

г) Знаходяться проєкції вибраної точки K на горизонтальну (K_1) і вертикальну (K_2) осі координат (рисунок 10).

д) Вимірюються довжини відрізків KK_1 і KK_2 на зображенні, які представляють собою координати x і y точки K .

С урахуванням маркерів дальності і відстані між ними значення координати x визначається з співвідношення

$$\frac{KK_2}{x} = \frac{l_M}{L_M}, \quad (4)$$

де KK_2 – довжина в пікселях відрізка $KK_2 = OK_1$ на зображенні, $KK_2 = 289$ пікселів;

l_M – довжина в пікселях відстані між першим і другим маркерами, $l_M = 368$ пікселів;

L_M – дійсне відстані між маркерами дальності, $L_M = 5$ м.

Таким чином, з співвідношення (4) знаходиться горизонтальна координата $x = 3,93$ м точки K . С урахуванням вимог до точності розрахунків і наявних похибок в даному випадку доцільно округлити отриманий результат з точністю до 0,1 м, т. є. прийняти $x = 3,9$ м.

е) Значення вертикальної координати y визначається з допомогою формули (3), яка з урахуванням позначень на рисунку 10 приймає вигляд

$$y = KK_1 \left(\frac{s}{f} - 1 \right), \quad (5)$$

де KK_1 – розмір зменшеного зображення об'єкта знімки, $KK_1 = OK_2 = 270$ пікселів (10,4 % від вертикальної сторони, рівної

1,48 см, що в розрахунок відповідає 0,154 см = $1,54 \cdot 10^{-3}$ м);

s – відстані від об'єктиву до об'єкта, визначається згідно з вибраним планом проведення іспитів (рисунки 1 і 4); з урахуванням відомих вибраних значень $AA_1 = 40$ м (відстані від точки A знімки до площини розміщення траєкторії струї), $BA_1 = 20$ м (довжина відрізка, що характеризує площину траєкторії струї, до якої проведено перпендикуляр з точки знімки) і $BK_1 = x = 3,9$ м, геометрично визначається відстані $s = 43,1$ м;

f – фокусна відстані, визначається з метаданих фотоснімки, $f = 18$ мм = $1,8 \cdot 10^{-2}$ м.

В результаті маємо

$$y = 1,54 \cdot 10^{-3} \left(\frac{43,1}{1,8 \cdot 10^{-2}} - 1 \right) = 3,69 \text{ (м)}.$$

Аналогічно значенню координати x величина y округляється з точністю до 0,1 м, в підсумку $y = 3,7$ м.

С метою спрощення наступної обробки результатів вимірювання і побудови траєкторій струї доцільно на початку задати цілими значеннями горизонтальних координат x і вже для них визначати вертикальні координати y .

Після побудови двох кривих, що обмежують струю в площині, перпендикулярній знімку, можна переходити до визначення її траєкторії. Оскільки струя, що формується лафетними стволами пожежних роботів, є осесиметричною, то за траєкторію, по якій відбувається рух частинок нахилної струї, приймається її вісь. Розташування траєкторії так же

характеризується горизонтальними і вертикальними координатами, которые определяются аналогичным способом.

По результатам обработки и анализа серий полученных с помощью фотосъемки изображений водяных струй, формируемых лафетными стволами пожарных роботов, были определены кривые, ограничивающие верхнюю и нижнюю части струи в плоскости расположения ее оси. На каждой из полученных кривых была выбрана

последовательность точек и определены наборы вертикальных и горизонтальных координат, характеризующих расположение струи в воздухе. Эти данные позволили воспроизвести расположение водяных струй в соответствующем масштабе и изобразить их в выбранной системе координат. Пример построений для случая гидравлической струи, выпускаемой под углами от 10 до 90 градусов к горизонту из ЛС с номинальным расходом 40 л/с, показан на рисунке 11.

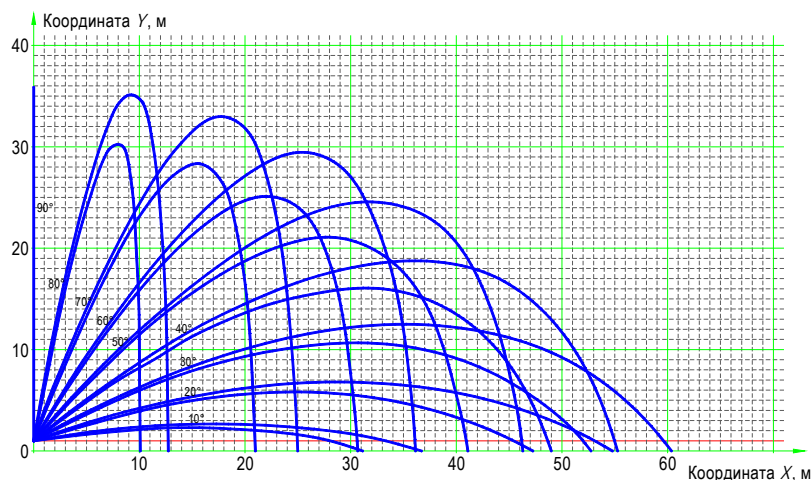


Рисунок 11 – Контуры водяных струй, формируемых лафетным стволом с номинальным расходом 40 л/с при давлении 0,5 МПа

Заключення. Розроблена методика определения фактических траекторий и других экспериментальных геометрических характеристик пожарных струй, которая предусматривает получение и анализ серий фотоснимков для оценки положения водяных струй в воздухе. Расчет геометрических параметров выполняется с учетом оптических свойств используемого фотооборудования. В процессе анализа полученных фотографий проведена работа по оценке наличия aberrаций объектива фотоаппарата, которые ухудшают

качество изображения и искажают истинные размеры предметов, а также их влияния на итоговые расчетные значения.

В результате проведенных экспериментальных исследований получены данные, позволяющие судить о расположении гидравлической струи в воздухе, построить траектории и определить максимальную дальность наклонных водяных струй, формируемых лафетными стволами при заданных давлении и угле наклона к горизонту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов, Е.Н. Противопожарное водоснабжение / Е.Н. Иванов. – М.: Стройиздат, 1986. – 316 с.
2. Гидравлика и противопожарное водоснабжение : учебник / Ю.Г. Абросимов [и др.] ; под ред. Ю.Г. Абросимова. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – 392 с.
3. Тарасов-Агалаков, Н.А. Практическая гидравлика в пожарном деле / Н.А. Тарасов-Агалаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательство МКХ РСФСР, 1959. – 264 с.
4. Горбань, Ю.И. Пожарные роботы и ствольная техника в пожарной автоматике и пожарной охране / Ю.И. Горбань. – М. : Пожнаука, 2013. – 352 с.
5. Здор, Г.Н. Уточнение зависимостей для построения огибающих кривых компактной и раздробленной гидравлических струй лафетных стволов пожарных роботов / Г.Н. Здор, А.В. Потеха // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы, 2015. – Серія 6. Техніка, № 2 (204). – С. 68-77.
6. Потеха, А.В. Усовершенствованная методика гидравлических испытаний лафетных стволов пожарных роботов / А.В. Потеха // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 19–20 мая 2016 г. / М-во по чрезвычайн. ситуациям Респ. Беларусь, Гомел. инженер. ин-т ; редкол.: А. Э. Набатова (науч. ред.) [и др.]. – Гомель, 2016. – С. 248–249.

7. Ногин, П.А. Фотографический объектив / П.А. Ногин. – М. : Искусство, 1961. – 132 с.
8. Леонтьев, В.П. Самоучитель. Цифровое фото, музыка и звук / В.П. Леонтьев, И.В. Прокошев. – М. : ОЛМА-ПРЕСС, 2006. – 384 с.
9. Яворский, Б.М. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф, А.К. Лебедев. – 8-е изд., перераб. и испр. – М. : Оникс, 2006. – 1056 с.
10. Заказнов, Н.П. Теория оптических систем : учебник для студентов приборостроительных специальностей вузов / Н.П. Заказнов, С.И. Кирюшин, В.И. Кузичев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1992. – 448 с.
11. Теория построения изображения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://books.gukit.ru/pdf/2013_1/000238.pdf. – Дата доступа: 22.01.2016.
12. Прикладная оптика : учеб.для оптич. спец. вузов / М.И. Апенко [и др.] ; под общ. ред. А.С. Дубовика. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1992. – 480 с.
13. Волосов, Д.С. Фотографическая оптика: (Теория, основы проектирования, оптич. характеристики) : учеб.пособие для киновузов / Д.С. Волосов. – 2-е изд. – М. : Искусство, 1978. – 543 с.
14. Дыко, Л.П. Фотокомпозиция / Л.П. Дыко, А. Д. Головня. – М. : Искусство, 1962. – 261 с.
15. Газаров, А.Ю. Основы цифровой фотографии / А.Ю. Газаров. – М. : Эксмо, 2009. – 460 с.

DETERMINATION OF EXPERIMENTAL TRAJECTORIES AND OTHER GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF FIRE JETS USING PHOTOGRAPHY

O. Potiekh¹, A. Kovalov², Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow, O. Hrushovinchuk³, Candidate of Technical Sciences

¹ Grodno State Agrarian University, Belarus

²Cherkassy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of the National University of Civil Protection, Ukraine

³State Certification Center of SES of Ukraine

KEYWORDS

fire jet, photography, geometric characteristics, trajectory, fire monitor.

ANNOTATION

In the introduction a subject of research is given – the geometric characteristics of water jets that are formed by fire monitors, and the problem is highlighted that consists in the complexity of their experimental determination, since the mentioned references of the existing method using photography does not contain a description of the photo images analysis but only indicate its fact.

The purpose of research is to develop a method for determining experimental trajectories and other geometric characteristics of fire jets, which predicts registration of their position in the air using photography. Determination of the jet geometric characteristics from photographs is performed based on the optical properties of the photographic lens, taking into consideration that during shooting remote subjects, the value of their image is proportional to the focal length.

In the main part of the article it is described the steps of image processing and calculations of the actual jet geometric characteristics. Based on the results of the research dependents have been obtained that allow to calculate vertical and horizontal coordinates of the inclined jet particles to reproduce its position at a selected scale and frame of axis. Practical implementation of the developed methodology is illustrated by an example. The estimation of aberrations presence of used photographic equipment and their influence on the final results are performed.

In conclusion, it is mentioned the possibility of applying discussed method for determining the position in the air of the hydraulic jet that is formed by fire monitors and position of its geometric characteristics, for example, tracing the trajectory and determining its maximum range.

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ТРАЄКТОРІЙ ТА ІНШИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖЕЖНИХ СТРУМЕНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ФОТОЗЙОМКИ

О.В. Потеха, А.І. Ковальов, канд. техн. наук, ст. наук. співр., О.В. Грушовінчук, канд. техн. наук

¹ Гродненський державний аграрний університет, Білорусь

²Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту, Україна

³Державний центр сертифікації ДСНС України

КЛЮЧОВІ СЛОВА

пожежний струмінь, фотозйомка, геометричні характеристики, траєкторія, лафетний ствол.

АНОТАЦІЯ

У вступі вказано предмет дослідження – геометричні характеристики водяних струменів, що формуються лафетними стволами, і виокремлено проблему, яка полягає в складності їх експериментального визначення, оскільки згадування існуючої методики з використанням фотозйомки не містять опису аналізу фотозображень, а лише відзначається сам його факт.

Метою дослідження є розробка методики визначення експериментальних траєкторій і інших геометричних характеристик пожежних струменів, яка передбачає фіксування їх положення в повітрі за допомогою фотозйомки.

Визначення геометричних характеристик струменя за фотознімками виконується на підставі оптичних властивостей фотооб'єктиву з урахуванням того, що при зйомці віддалених предметів величина їх зображення пропорційна фокусній відстані.

В основній частині роботи наводиться опис передбачених методикою етапів обробки зображень і розрахунків фактичних геометричних характеристик струменя. За підсумками проведених

досліджень отримано залежності, що дозволяють розраховувати вертикальні і горизонтальні координати частинок похилого струменя для відтворення його розташування в обраних масштабі і системі координат. На прикладі показана практична реалізація розробленої методики. Проведено оцінку наявності аберацій використовуваного фотообладнання і їх впливу на підсумкові результати.

У висновку зазначається можливість використання розробленої методики для оцінки розташування гідравлічного струменя в повітрі, що формується лафетними стволами, і знаходження його геометричних характеристик, наприклад, побудови траєкторії і визначення максимальної дальності струменя.