

ПРОБЛЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Выпуск 17



Харьков – 2005

ваны в проектировочных расчетах установок автоматического пожаротушения с вертикальной подачей ОВ.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Абрамов Ю.А., Росоха В.Е., Шаповалова Е.А. Моделирование процессов в пожарных стволах. – Харьков: Фолио, 2001. – 195 с.
- 2 Севриков В.В. Карпенко В.А., Севриков И.В. Автоматические быстродействующие системы пожарной защиты. – Севастополь: Изд-во “СевГТУ”, 1996. – 260 с.
- 3 Биков С.О. Розробка імпульсного вогнегасника для дальнього розпорошення вогнегасних речовин. Дисертація кандидата технічних наук. – Харків: АПБ України, 2001. – 228 с.
- 4 Ольшанский В.П., Халыпа В.М., Дубовик О.А. Приближенные методы расчета гидравлических пожарных струй. – Харьков: Митець, 2004. – 116 с.
- 5 Севриков В.В. Автономная автоматическая противопожарная защита промышленных сооружений. – Киев-Донецк: Вища школа, 1979. – 188 с.

Статья поступила в редакцию 6.03.2005 г.

УДК 614.84:628.174

*В.П.Ольшанский, д-р физ.-мат. наук, проф. АГЗУ;
Т.Ю.Поляк, канд. техн. наук, АГЗУ;
А.А.Чернуха, курсант АГЗУ*

ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ТРАЕКТОРИИ ПОЖАРНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СТРУИ

Дано решение задачи о попадании траектории струи в заданную точку вертикальной плоскости под прямым углом к ней. Эти требования выполнены путем варьирования начальных параметров истечения струи.

Постановка проблемы. Для более эффективного использования огнетушащих веществ при тушении пожаров нужно повышать точность их подачи в область горения. По утверждению автора статьи [1] удельная эффективность доставки огнетушащих веществ в очаг возгорания с помощью брандспойта в руках даже опытного пожарного не превышает 20-30%, а других средств – и того ниже. Это, в первую очередь, касается установок автоматического пожаротушения, поэтому при их проектировании нужно анализировать внешнюю баллистику создаваемых ими пожарных струй, чтобы повысить точность доставки огне-

тушащих веществ в зону горения.

В связи с этим, в последнее время начали решать задачи геометрического синтеза траекторий. Это отдельный класс задач динамики, где приходится находить такие условия истечения струи (управляющие воздействия), при которых будут удовлетворены определенные геометрические ограничения на параметры траектории.

Наметилось два направления в решении этих задач.

Первое [2, 3, 4] связано с применением специальной функции Ламберта и компьютерной среды "Maple". Второе [5, 6] базируется на численном решении трансцендентного уравнения (или их системы) методом Ньютона [7], который не требует использования лицензионного компьютерного обеспечения, поскольку сводит расчет к ручным вычислениям на калькуляторе.

Постановка задачи и ее решение. При подаче струи через отверстие в вертикальной толстой стене, которая перпендикулярна плоскости истечения струи, могут быть значительные потери огнетушащих веществ. В случае, когда струя подходит под острым углом к стене, частицы жидкости будут ударяться о границу отверстия и терять энергию движения, как показано на рис. 1.

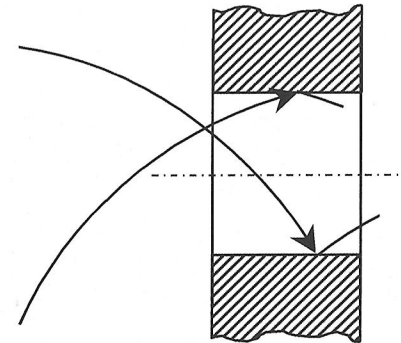


Рисунок 1 – Схема соударений частиц жидкости о границу отверстия в стене

Некоторые из частиц, отразившись при ударе, не пройдут в отверстие. Для уменьшения дробления струи и потерь огнетушащих веществ желательно обеспечить подачу жидкости под прямым углом к стене так, чтобы ось отверстия была касательной к траектории струи. Это можно осуществить надлежащим выбором угла установки оси ствола к горизонту и величины напора. Такой вариант решения задачи синтеза изложен в работах [5, 6]. Поэтому, далее рассмотрим другой вариант постановки и решения обратной задачи. Покажем, как можно удовлетворить поставленным выше требованиям к траектории путем варьирования угла установки ствола и расстояния от среза ствола до

вертикальной плоскости.

Траекторию струи будем описывать выражением [5, стр.49].

$$y(x) = \frac{g + \alpha v_2}{\alpha v_1} x + \frac{g}{\alpha^2} \ln \left(1 - \frac{\alpha x}{v_1} \right) \quad (1)$$

В нем $v_1 = \sqrt{2gH} \cos \Theta_0$; $v_2 = \sqrt{2gH} \sin \Theta_0$; α - приведенный коэффициент аэродинамического сопротивления движению струи; H - эффективный напор жидкости в стволе; Θ_0 - угол наклона оси ствола к горизонту; g - ускорение свободного падения.

Начало прямоугольной системы координат XOY совпадает со срезом ствола. Ось OY направлена вверх.

Обозначим через (x_1, y_1) абсциссу и ординату центра отверстия в стене. Тогда по условию задачи эта точка должна быть точкой максимума функции (1), поскольку траектория выпуклая и производная $y'(x_1) = 0$. Учитывая условия экстремума $y(x)$, полученные в работе [5, стр.48], приходим к выражениям

$$y_1 = \frac{v_2}{\alpha} - \frac{g}{\alpha^2} \ln \left(1 + \frac{\alpha v_2}{g} \right), \quad x_1 = \frac{v_2 \sqrt{2gH - v_2^2}}{g + \alpha v_2} \quad (2)$$

Первое из них позволяет найти v_2 , а, следовательно, и угол наклона оси ствола к горизонту

$$\Theta_0 = \arcsin \left(\frac{v_2}{\sqrt{2gH}} \right) \quad (3)$$

Второе, при известном v_2 , определяет искомое расстояние x_1 .

Итак, основной расчет сводится к вычислению корня $z = v_2$ трансцендентного уравнения

$$f(z) = z - \frac{g}{\alpha} \ln \left(1 + \frac{\alpha z}{g} \right) - \alpha y_1 = 0. \quad (4)$$

Его несложно находить численно методом Ньютона, который дает быструю сходимость итераций по формуле [7]

$$z_{n+1} = z_n - \frac{f(z_n)}{f'(z_n)}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

Здесь $f'(z_n) = \alpha z_n (g + \alpha z_n)^{-1}$.

За начальное приближение можно брать значение $z_0 = \sqrt{2gy_1}$, а

затем итерациями уточнять решение.

Рассмотрим примеры расчета.

Пусть $\alpha = 0,16 \text{ с}^{-1}$; $y_1 = 15 \text{ м}$; $H = 50,46 \text{ м}$. Для этих исходных данных $z_0 \approx 17,155 \text{ м/с}$. Итерации по формуле (5) дают значения: $z_1 \approx 18,851$; $z_2 \approx 18,791$; $z_3 \approx 18,791 \text{ м/с}$. Ограничившись достигнутой точностью вычисления корня, с помощью выражений (2) и (3) получаем $x_1 \approx 37,002 \text{ м}$; $\Theta_0 \approx 36,671^\circ$. Эти результаты находятся в хорошем соответствии с теми, что имеются в работе [5].

Выясним, как меняются значения x_1 и Θ_0 , когда $\alpha = 0,1 \text{ с}^{-1}$. В этом случае $z_0 \approx 17,155$; $z_1 \approx 18,195$; $z_2 \approx 18,169$; $z_3 \approx 18,169 \text{ м/с}$. Для них $x_1 \approx 40,143 \text{ м}$; $\Theta_0 \approx 35,271^\circ$.

При $\alpha = 0,2 \text{ с}^{-1}$ и прежних остальных параметрах, расчет дает: $x_1 \approx 35,065 \text{ м}$; $\Theta_0 \approx 37,630^\circ$.

Численный анализ показал, что приведенный коэффициент аэродинамического сопротивления в большей мере влияет на x_1 и, в меньшей, на Θ_0 . С возрастанием α уменьшается расстояние x_1 .

Отдельного внимания заслуживает третий вариант постановки и решения задачи синтеза. Кроме, рассмотренных выше, управляющих воздействий, можно, также, варьировать напор H и расстояние x_1 , зафиксировав угол Θ_0 . При такой постановке задачи, вычисление v_2 , как прежде, следует проводить из уравнения (4). Остальные параметры истечения можно найти по формулам

$$H = \frac{1}{2g} \left(\frac{v_2}{\sin \Theta_0} \right)^2; \quad x_1 = \frac{v_2^2 \operatorname{ctg} \Theta_0}{g + \alpha v_2}$$

Например, при $\alpha = 0,2 \text{ с}^{-1}$; $\Theta_0 = 37,63^\circ$, когда корень уравнения (4) имеет значение $v_2 \approx 19,211 \text{ м/с}$, получаем $H \approx 50,460 \text{ м}$; $x_1 \approx 35,065$

м, что согласуется с прежними результатами.

Графический способ решения задачи синтеза. Чтобы придать ему достаточную универсальность, введем безразмерные параметры: $X = \alpha v_2 g^{-1}$, $Y = \alpha^2 y_1 g^{-1}$ и представим уравнение (4) в безразмерном виде

$$X - \ln(1 + X) = Y.$$

Его корень можно приближенно находить с помощью графиков, приведенных на рисунках 2 и 3. Первый график построен для интервала $X \in [0; \frac{1}{2}]$, а второй для $X \in [0; 2]$. Вычислив по заданным значениям α и y_1 величину Y , нужно установить положение точки на графике, а затем найти соответствующий ей X . Для уточнения этого начального приближения можно выполнить несколько итераций по формуле

$$X_{n+1} = \frac{(1 + X_n) \cdot [\ln(1 + X_n) + Y]}{X_n} - 1, n = 0, 1, 2, \dots$$

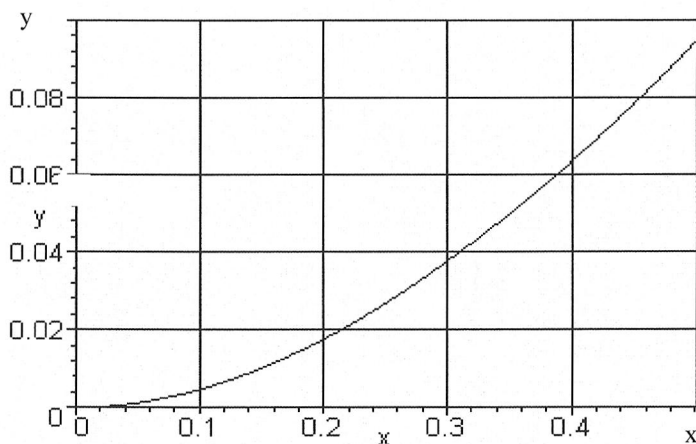


Рисунок 2 – Зависимость Y от X

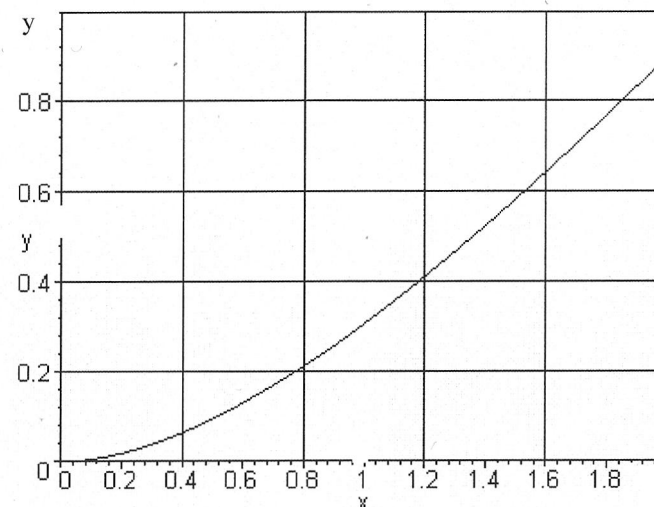


Рисунок 3 – Зависимость Y от X (расширенный интервал)

Проиллюстрируем применение графического способа решения.

Положим $H = 45$ м, $y_1 = 12$ м, $\alpha = 0,2$ с⁻¹. Для этих исходных данных $Y \approx 0,049$. По графику на рисунке 2 находим $X \approx 0,35$. Вычленив две итерации, получаем $X \approx 0,347$. Ему соответствуют: $v_2 \approx 17,02$ м/с; $x_1 \approx 31,37$ м; $\Theta_0 \approx 34,95^\circ$. Аналогично, с помощью графика можно решить и третий вариант задачи синтеза.

Выводы. 1. Прохождение траектории струи через заданную точку вертикальной плоскости под прямым углом к ней можно обеспечить тремя способами варьирования условий истечения струи. 2. В любом из них полезно использовать графическое решение, которое упрощает поиск корня трансцендентного уравнения и вычисление требуемых параметров истечения ОВ.

ЛИТЕРАТУРА

1 Дауэнгауэр С.А. Пожаротушение тонкораспыленной водой: механизмы, особенности, перспективы// Пожаровзрывобезопасность.-2004.-№6.-С.78-81.

2 Рева Г.В., Куценко Л.М., Росоха С.В. Анімаційне комп'ютерне моделювання деяких процесів в задачах пожежної безпеки// Проблеми пожежної безпеки. Ювілейний випуск.-Харьков:АПБУ,2003.-С.147-163.

3 Запальський Л.Л. Моделювання траєкторії доставки засобів пожежегасіння методом метання// Геометричне та комп'ютерне моделювання. Вип.5.-Харків:ХДУХТ, 2004.-С.106-113.

4 Куценко Л.М., Бобов С.В., Росоха С.В. Методи геометричного моделювання в задачах пожежної безпеки.-Харків: академія цивільного захисту України, 2004.-175 с.

5 Ольшанский В.П., Халыпа В.М., Дубовик О.А. Приближенные методы расчета гидравлических пожарных струй.-Харьков: "Митець", 2004.-116с.

6 Ольшанский В.П., Дубовик О.А. Вопросы внешней баллистики огнетушащих веществ.-Харьков:"Митець", 2005.-236с.

7 Калиткин Н.Н. Численные методы.-М.:Наука, 1978.-512с.

Статья поступила в редакцию 4.03.2005 г.