

тировки и переналадке всего комплекса измерителя.

Результаты оценочного расчета показывают, что ЛДИС с оптическими схемами ОС1-ФТ2 и ОС2-ФЭУ49 возможно реализовать с применением ОКГ ЛГ-38 с паспортной мощностью излучения 80 мВт. Схема ОС1-ФЭУ49 может быть реализована с источником типа ЛГ-55 с паспортной мощностью излучения 15 мВт. Эффективность изложенного подхода подтверждается многократным его применением. В [6] приведена конфигурация оптической схемы практически совпадающей с примером расчета ОС1-ФЭУ49. Оптическая схема экспериментального ЛДИС опубликованная в [5] соответствует расчету ОС2-ФЭУ49.

Список литературы: 1. Дубнищев Ю.Н., Ринкевичус Б.С. Методы лазерной доплеровской анемометрии. – М.: Наука. 1982. – 304 с. 2. Дюррани Т., Грейтюд К. Лазерные системы в гидродинамических измерениях: Пер. с англ. – М.: Энергия, 1980. – 336 с. 3. Мустель Э.Р., Парыгин В.И. Методы модуляции и сканирования света. – М.: Наука, 1970. – 295 с. 4. Никитин А.М. Расчет мощности лазера и параметров оптических схем // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск: «Радиофизика и ионосфера». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2004. – № 23. – С. 73-79. 5. Товажнянский Л.Л., Никитин А. М. и др. Лазерная диагностика потоков. Часть 1. Двумерные модуляторы лазерного излучения // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск: «Динамика и прочность машин». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2003. – № 12, т.1. – С. 139-146. 6. Товажнянский Л.Л., Никитин А.М. и др. Исследование гидродинамики турбулентных потоков в моделях пластинчатых теплообменников // Тезисы докладов всесоюзной научной конференции «Повышение эффективности, совершенствование процессов и аппаратов химических производств» 11-13 июня 1985 г. – Харьков, 1985. – С. 46-47.

Поступила в редколлегию 20.04.2005

УДК 614.84:664

В.П.ОЛЬШАНСКИЙ, докт.физ.-мат.наук; **И.В.МИЩЕНКО**,
канд.техн.наук, Академия гражданской защиты, Харьков;
С.В.ОЛЬШАНСКИЙ, НТУ «ХПИ»

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА БАЛЛИСТИКИ СВОБОДНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СТРУИ

Визначено умови витікання стаціонарного струменя, за яких його траєкторія проходить через задану точку вертикальної площини під прямим кутом до неї, а частинки рідини в цій точці мають задану швидкість руху.

The conditions of the expiration of a stationary jet are determined, at which its trajectory passed through the given point of a vertical plane under a direct angle to it, and the particles of a liquid in this point have the given speed of movement.

Состояние и актуальность проблемы. В технических расчетах балли-

стики свободных гидравлических струй их траектории описывают с помощью решений дифференциальных уравнений движения материальной точки [1-5]. Такой подход позволяет сравнительно просто и приемлемой точностью рассчитывать параметры полета жидкости. Кроме того, открывается возможность решать задачи синтеза траекторий, то есть находить такие условия истечения струи, при которых ее траектория удовлетворяет определенным ограничениям геометрического или физического характера. В частности, авторами работ [6,7] с помощью специальной функции Ламберта и компьютерной программы в среде «MAPLE» удалось рассчитать начальный напор и угол истечения струи, при которых ее траектория проходит через две заданные точки. Аналогичная задача, но другим способом, решена в работе [4]. С практической точки зрения решение задач синтеза траекторий позволяет повысить точность доставки (попадания) жидкости в назначенную область, что важно в деле пожаротушения, полива растений, дистанционной мойки и дезактивации техники и пр. Поэтому решение обратных задач динамики свободных гидравлических струй представляет не только теоретический, но и практический интерес.

Постановка задачи синтеза траектории и ее аналитическое решение на базе простейшей модели движения. Простейшей называем модель, в которой не учитывается аэродинамическое сопротивление потоку жидкости. Она позволяет получить замкнутое аналитическое решение, которое можно использовать для грубых оценочных расчетов.

В работе [4] решена задача прохождения траектории струи через заданную точку вертикальной плоскости под прямым углом к ней. Но там не ставилось ограничений на скорость движения частиц жидкости в этой точке. На практике важно, чтобы струя не просто прошла через заданную точку, а имела в ней еще и определенный запас энергии движения. Поэтому здесь обобщим решенную в [4] задачу синтеза путем введения дополнительного требования к скорости движения частиц жидкости.

Итак, пусть истечение струи происходит в начале прямоугольной системы координат XOY , с начальной скоростью v_0 под углом θ_0 к горизонту (см. рис. 1).

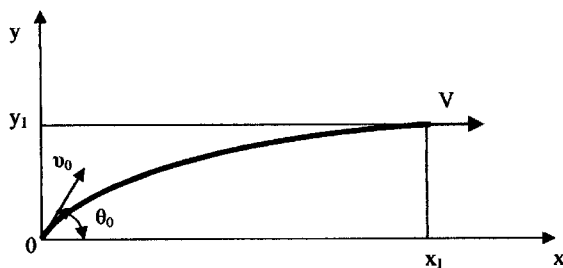


Рисунок 1 – Фрагмент траектории струи

Проекции скорости истечения струи v_1 и v_2 связаны с эффективным напором H соотношениями

$$v_1 = \sqrt{2gH} \cos \theta_0, \quad v_2 = \sqrt{2gH} \sin \theta_0,$$

где g – ускорение свободного падения. Ставится задача найти такие значения H , θ_0 и x_1 , при которых траектория пройдет через точку (x_1, y_1) . Кроме того, траектория в этой точке должна иметь горизонтальную касательную, а частицы жидкости – заданную скорость V .

Предполагается, что выбранная точка (x_1, y_1) неподвижна в пространстве и принадлежит плоскости движения струи, а изменение x_1 достигается горизонтальным перемещением начала координат (среза ствола, образующего струю).

Без учета аэродинамического сопротивления потоку жидкости траектория стационарной струи является параболой и описывается выражением [4,8]

$$y(x) = \frac{x}{v_1} \left(v_2 - \frac{g}{2} \cdot \frac{x}{v_1} \right). \quad (1)$$

По условию задачи синтеза точка (x_1, y_1) должна быть точкой максимума кривой (1). Из условия экстремума следует

$$x_1 = \frac{v_1 v_2}{g}; \quad y_1 = \frac{v_2^2}{2g} \Rightarrow v_2 = \sqrt{2g y_1}.$$

Учитывая, что в принятой модели движения $v_1 = \text{const}$ и по ограничению $v_1 = V$, приходим к аналитическому решению обратной задачи

$$x_1 = V \sqrt{\frac{2y_1}{g}}; \quad \theta_0 = \arctg \frac{\sqrt{2g y_1}}{V}; \quad H = y_1 + \frac{V^2}{2g}. \quad (2)$$

Используя полученное решение, определим, какими должны быть параметры истечения струи, чтобы $y_1 = 14$ м; $V = 20$ м/с. Вычисления по формулам (2) дают: $x_1 \approx 33,79$ м; $\theta_0 \approx 39,65^\circ$; $H \approx 34,39$ м.

Если в исходных данных в ограничении на скорость принять $V = 10$ м/с, то $x_1 \approx 16,89$ м; $\theta_0 \approx 58,89^\circ$; $H \approx 19,10$ м. Изменение V существенно повлияло на параметры истечения струи.

Выясним, как изменятся результаты синтеза при учете аэродинамического сопротивления. С этой целью используем более точную модель движения жидкости.

Решение обратной задачи динамики с учетом потерь энергии. Согласно теории линейного сопротивления движению траектория стационарной струи описывается выражением [2,4]

$$y(x) = \frac{g + \alpha v_2}{\alpha v_1} x + \frac{g}{\alpha^2} \ln \left(1 - \frac{\alpha x}{v_1} \right), \quad (3)$$

в котором α – приведенный коэффициент аэродинамического сопротивления.

Точка максимума функции (3) имеет координаты [4, стр.48]

$$x_1 = \frac{v_1 v_2}{g + \alpha v_2}; \quad y_1 = \frac{v_2}{\alpha} - \frac{g}{\alpha^2} \ln \left(1 + \frac{\alpha v_2}{g} \right). \quad (4)$$

Зависимость горизонтальной проекции скорости $v_1(x)$ от абсциссы x является линейной $v_1(x) = v_1 - \alpha x$. Поэтому по условию обратной задачи

$$v_1 - \alpha x_1 = V \Leftrightarrow v_1 = \alpha x_1 + V.$$

Введем далее безразмерные параметры: $X = \alpha v_2 x g^{-1}$; $Y = \alpha^2 y_1 g^{-1}$ и представим второе уравнение (4) в безразмерном виде

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

Приближенные значения корней этого трансцендентного уравнения можно находить с помощью графиков (см. рис. 2, 3).

Учитывая некорректность обратной задачи, особенно при малых α , желательно взятое из графика значение X принять за начальное приближение X_0 , а далее уточнить его методом итераций

$$X_{n+1} = X_n - \frac{(1 + X_n)[X_n - \ln(1 + X_n) - Y]}{X_n}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

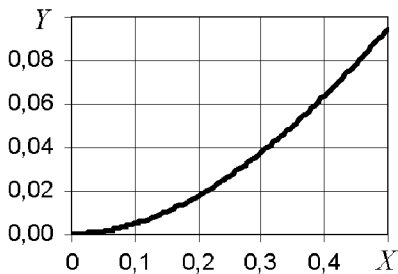


Рисунок 2 – Зависимость Y от X

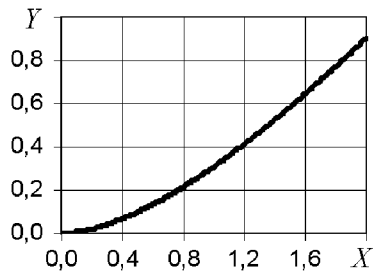


Рисунок 3 – Расширенный интервал зависимости Y от X

Определив с заданной точностью X_n , далее легко вычислить остальные неизвестные, поскольку

$$v_2 = (gX_n)/\alpha; \quad v_1 = V(1 + X_n); \quad x_1 = \frac{1}{\alpha}(v_1 - V);$$

$$H = \frac{1}{2g}(v_1^2 + v_2^2); \quad \theta_0 = \arctg(v_2 v_1^{-1}). \quad (6)$$

Рассмотрим примеры применения полученных решений.

Пример 1. Найдем требуемые параметры истечения струи при $\alpha = 0,2$ с⁻¹; $y_1 = 14$ м; $V = 20$ м/с. Для них $Y \approx 0,057$. По графику (см рис. 2) находим

$X_0 \approx 0,38$. Уточнение с помощью формулы (5) дает $X_1 \approx 0,377$; $X_2 \approx 0,377$. Ограничиваясь этой точностью, по формулам (6) получаем $v_2 \approx 18,49$ м/с; $v_1 \approx 27,54$ м/с; $x_1 \approx 37,70$ м; $H \approx 56,08$ м; $\theta_0 \approx 33,88^\circ$. Если в исходных данных принять значение $V = 10$ м/с, то расчетные параметры истечения будут следующими $x_1 \approx 18,85$ м; $H \approx 27,09$ м; $\theta_0 \approx 53,33^\circ$. Как видим и при учете аэродинамического сопротивления ограничение на скорость V существенно влияет на результаты синтеза.

Пример 2. Увеличив сопротивление движению струи, определим параметры ее истечения при $\alpha = 0,2$ с⁻¹, $y_1 = 14$ м, $V = 20$ м/с. Этим исходным данным соответствует $Y \approx 0,228$. Согласно графику (см рис.3) начальным приближением является $X_0 \approx 0,84$. Уточняя его, по формуле (5) получаем $X_1 \approx 0,835$; $X_2 \approx 0,835$. Последующий расчет по формулам (6) дает: $v_2 \approx 20,48$ м/с; $v_1 \approx 36,70$ м/с; $x_1 \approx 41,75$ м; $H \approx 90,03$ м; $\theta_0 \approx 29,16^\circ$.

Расчеты показывают, что величина коэффициента аэродинамического сопротивления потоку жидкости существенно влияет на величину потребного напора и другие параметры

Выводы.

Построенные решения обратной задачи баллистики струи позволяют рассчитывать значения параметров истечения, при которых траектория движения жидкости удовлетворяет поставленным требованиям.

Поскольку результаты синтеза существенно зависят от величины приведенного коэффициента аэродинамического сопротивления, его следует экспериментально уточнять для конкретных стволов, создающих струи, а затем использовать в проектировочных расчетах.

Список литературы: 1. *Абрамов Ю.А., Росоха В.Е., Шаповалова Е.А.* Моделирование процессов в пожарных стволах. – Харьков: Фолио, 2001. – 195 с. 2. *Куценко Л.М., Бобов С.В., Росоха С.В.* Методы геометричного моделирования в задачах пожарной безопасности. – Харків: Академія цивільного захисту України, 2004. – 175 с. 3. *Севериков В.В., Карпенко В.А., Севериков И.В.* Автоматические быстродействующие системы пожарной защиты. – Севастополь: Изд-во СевГТУ, 1996. – 260 с. 4. *Ольшанский В.П., Халыпа В.М., Дубовик О.А.* Приближенные методы расчета гидравлических пожарных струй. – Харьков: Митець, 2004. – 116 с. 5. *Ольшанский В.П.* О пологой траектории гидравлической пожарной струи // Вестник НТУ «ХПИ» Динамика и прочность машин. Вып. 20. – 2004. – С. 81-86. 6. *Рева Г.В., Куценко Л.М., Росоха С.В.* Анімаційне комп'ютерне моделювання деяких процесів в задачах пожарной безопасности // Проблемы пожарной безопасности. Юбилейный выпуск. – Харьков: АПБУ, 2003. – С. 147-163. 7. *Запольський Л.Л.* Моделирования траекторії доставки засобів пожежегасіння методом метання // Геометричне та комп'ютерне моделювання. Вип. 5. – Харків: ХДУХТ, 2004. – С. 106-113. 8. *Тарасов-Агалаков Н.А.* Практическая гидравлика в пожарном деле. – М.: Изд-во Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1959. – 262 с.

Поступила в редакцию 21.06.2005.