

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА УКРАЇНИ

НАУКОВИЙ ВІСНИК
БУДІВНИЦТВА

Вип. 31

Зареєстровано 22.04.97 р. Серія ХК № 457 Головним комітетом інформації
Харківської обласної державної адміністрації та у бюлетені ВАК України,
та перереєстровано №4, 1999

Харків
ХДТУБА
ХОТВ АБУ
2005

Анотація

Вісник включає статті вчених України, в яких висвітлюються результати фундаментальних та прикладних досліджень з пріоритетних напрямків: охорона навколишнього середовища, ресурсозберігаючі технології в будівництві та будівельної індустрії, нові будівельні матеріали та конструкції, підвищення ефективності капітальних вкладень, підвищення рівня механізації та автоматизації виробничих процесів.

Для наукових працівників і спеціалістів у галузі будівництва.

Бажаючі будівельні фірми та підприємства можуть розмістити в ньому свою рекламу.

Аннотация

Вестник включает в себя статьи ученых Украины, в которых освещаются результаты фундаментальных и прикладных исследований по приоритетным направлениям: охрана окружающей среды, ресурсосберегающие технологии в строительстве и строительной индустрии, новые строительные материалы и конструкции, повышение эффективности капитальных вложений, повышение уровня автоматизации и механизации производственных процессов.

Для научных работников и специалистов в области строительства.

Желающие строительные фирмы и организации могут разместить в нем свою рекламу.

Редакційна колегія: д-р техн. наук Д.Ф.Гончаренко (відп. редактор), д-р техн. наук О.Л.Шагін, д-р техн. наук В.І.Бабушкін, д-р техн. наук В.С.Шмуклер, д-р техн. наук О.Ф.Редько, д-р техн. наук С.М.Епоян, д-р техн. наук І.А.Шеренков, д-р арх-ри Г.І. Лаврік, д-р арх-ри В.І.Кравець, д-р арх-ри Н.Я.Крижиновська, Т.І.Ейдумова (відп. секретар)

Затверджено до друку згідно протоколу засідання Вченої ради ХДТУБА №4 від 13.05.2005 р.

Адреса редакційної колегії: 61002, Харків-2, Сумська, 40, ХДТУБА, тел. 7000-651

©Харківський державний
технічний університет
будівництва та архітектури
2005

©Харківське обласне
територіальне відділення
Академії будівництва
України, 2005

Ольшанский В.П., Поляк Т.Ю., Чернобай Г.О., Ольшанский С.В.
(Академия гражданской защиты Украины, г. Харьков)

ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ КОЭФФИЦИЕНТА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ СВОБОДНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СТРУИ

Изложены различные варианты определения коэффициента аэродинамического сопротивления движению свободной гидравлической струи по результатам измерений параметров ее траектории.

It is given the different variants of definition of aerodynamic resistance coefficient to movement of free hydraulic stream according to the results of measuring of its trajectory parameters.

Современное состояние проблемы. Свободные (незатопленные) жидкостные струи используют в пожарном деле, при поливе растений, мойке улиц подвижными средствами, дезактивации специальной техники и пр. Суммарный расход жидкости на выполнение требуемой операции зависит от точности попадания струи в цель. Чтобы повысить точность подачи жидкости исследуют баллистику свободных струй. В последнее время для описания траекторий струй используют решения дифференциальных уравнений движения материальной точки [1-7]. Среди различных теорий получила распространение линейная модель движения, в которой сила аэродинамического сопротивления принимается пропорциональной скорости потока жидкости [3, 4, 5, 6, 7]. Результаты расчета траектории на базе этой модели существенно зависят от величины коэффициента пропорциональности в выражении силы сопротивления. Для использования линейной модели в практических расчетах нужно знать величину этого коэффициента. Ее приходится определять путем идентификации после измерения параметров траектории в конкретных условиях истечения струи. Такая подстройка теоретической модели типична для инженерных расчетов.

Итак, чтобы приблизить теорию к эксперименту, требуется доводка модели. Поэтому, определение величины коэффициента аэродинамического сопротивления потоку жидкости является актуальной задачей в прикладной теории свободной струи.

Постановка задачи и ее решение. Здесь ставится цель предложить несколько способов определения коэффициента сопротивления движению по различным измеряемым величинам. Это расширяет возможности идентификации, ослабляя ее зависимость от наличия той или иной измерительной техники и методики измерений. Кроме того, появляется возможность сравнивать результаты, полученные несколькими способами,

чтобы оценить их достоверность. Поэтому далее рассмотрим несколько вариантов проведения идентификации, основанных на измерениях различных параметров траектории.

Следуя работе [8], считаем, что для струй, используемых в пожарном деле, приведенный коэффициент аэродинамического сопротивления α пропорционален начальной скорости v_0 истечения струи из насадка ствола, т.е.

$$\alpha = \alpha_0 v_0 = \alpha_0 \sqrt{2gH}, \quad (1)$$

где H – эффективный напор; g – ускорение свободного падения.

Поэтому, далее предметом идентификации будет коэффициент α_0 в конкретных условиях движения струи.

Идентификация коэффициента сопротивления для вертикальных струй. Она проводилась в работе [9] с целью выяснения соответствия между линейной моделью и признанными эмпирическими теориями. Здесь ориентируемся на использование экспериментальных данных.

В рамках линейной модели отношение высоты вертикальной струи S_v к эффективному напору H представляется выражением [9]

$$\frac{S_v}{H} = S = \frac{2}{x^2} [x - \ln(1+x)], \quad (2)$$

в котором $x = 2\alpha_0 H$.

Чтобы найти α_0 нужно экспериментально определить S и решить трансцендентное уравнение (2).

Графическая зависимость $S = S(x)$ представлена на рис. 1(а,б).

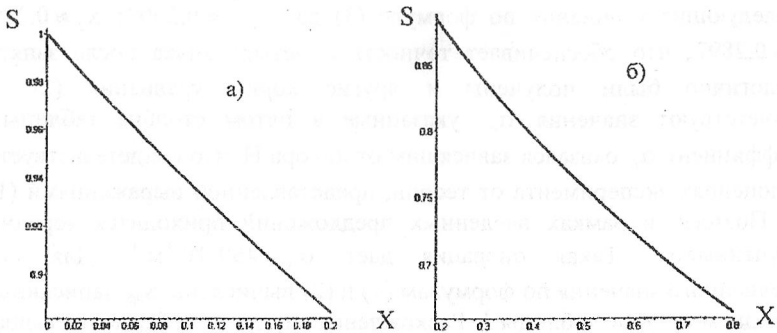


Рис. 1 – Зависимость $S(x)$

Из графиков по известному S удобно взять начальное приближение $x = x_0$, а затем уточнить итерациями

$$x_{n+1} = \frac{0,5Sx_n(1+x_n) - (1+x_n)x_n^{-1} \ln(1+x_n) + 1}{S(1+x_n) - 1}, n=0,1,2,\dots \quad (3)$$

Достигнув заданной точности вычисления x_n , легко найти α_0 , поскольку $\alpha_0 \approx x_n (2H)^{-1}$.

Реализуем изложенный способ идентификации на базе экспериментальных данных Фримана [10]. Для насадка диаметром $d = 22,2$ м им получены $S_{вз}$ при разных H , которые указаны в табл. 1.

Таблица 1 – Экспериментальные и расчетные высоты вертикальной струи (эксперимент Фримана)

$H, м$	$S_{вз}, м$	S	x_n	$10^5 \alpha_0, м^{-1}$	$S_{вр}, м$
35,2	29,6	0,841	0,2897	412	28,9
38,6	32,0	0,829	0,3166	410	31,3
42,2	34,0	0,806	0,3707	439	33,3
45,7	36,0	0,788	0,4154	454	35,6
49,2	37,5	0,762	0,4842	492	37,9
52,7	39,0	0,740	0,5465	519	40,0
56,2	40,2	0,715	0,6225	554	42,2

В третьем столбце таблицы записаны экспериментальные значения $S = S_{вз} H^{-1}$. Они были исходной информацией при вычислении x_n . Так при $S = 0,84$ на графике рисунка 2 ему соответствует $x = x_0 \approx 0,28$. Последующие уточнения по формуле (3) дают $x_1 \approx 0,2903$; $x_2 \approx 0,2897$; $x_3 \approx 0,2897$, что обеспечивает точность в четыре знака после запятой. Аналогично были получены и другие корни уравнения (2). Им соответствуют значения α_0 , указанные в пятом столбце таблицы 1. Коэффициент α_0 оказался зависящим от напора H , что свидетельствует об отклонениях эксперимента от теории, представленной выражениями (1) и (2). Поэтому в рамках введенных предложений приходится усреднить полученные α_0 . Такая операция дает $\alpha_0 \approx 469 \cdot 10^{-5} м^{-1}$. Для этого усредненного значения по формулам (1) и (2) вычислены $S_{вр}$, записанные в последнем столбце таблицы 1. Расхождения между $S_{вз}$ и $S_{вр}$ не превышают 5%, что свидетельствует об удовлетворительной "подстройке" линейной модели к эксперименту.

В табл. 2 указаны результаты идентификации коэффициента сопротивления по экспериментальным данным Вейсбаха [11], которые он провел для насадка диаметром $d = 14$ мм.

Таблица 2 – Экспериментальные и расчетные высоты вертикальной струи (эксперимент Вейсбаха)

$H, м$	$S_{вз}, м$	S	x_n	$10^3 \alpha_0, м^{-1}$	$S_{вр}, м$
5	4,80	0,960	0,0628	628	4,79
10	9,28	0,928	0,1175	588	9,20
15	13,26	0,884	0,1998	666	13,27
20	16,67	0,834	0,3053	763	17,05

Усредненное значение $\alpha_0 \approx 661 \cdot 10^{-5} м^{-1}$. Ему соответствуют $S_{вр}$, которые указаны в последнем столбце таблицы 2. Расхождения между $S_{вз}$ и $S_{вр}$ не превышают 3%, что свидетельствует о хорошей точности "подстроенной" линейной модели.

Идентификация коэффициента сопротивления движению по положению точки максимума на траектории. В этом способе к определению α_0 привлекаются либо абсцисса точки максимума x_e , либо ее ордината y_e (см. рис. 2).

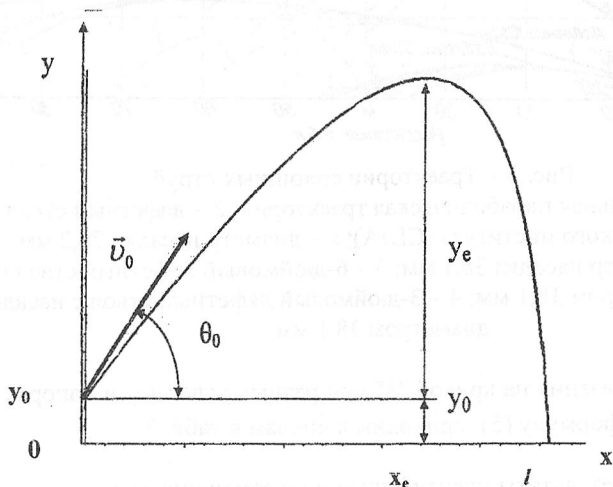


Рис. 2 – Траектория наклонной струи

Согласно линейной модели [6]

$$x_e = \frac{v_0^2 \sin \Theta_0 \cos \Theta_0}{g + \alpha v_0 \sin \Theta_0}, \quad (4)$$

здесь Θ_0 - угол наклона оси ствола к горизонту.

Из формулы (4) следует, что

$$\alpha_0 = \frac{1}{2 \sin \Theta_0} \left(\frac{\sin 2\Theta_0}{x_e} - \frac{1}{H} \right) \quad (5)$$

Для апробации этого способа идентификации воспользуемся данными экспериментов, проведенных в США [12]. Полученные там траектории струй представлены на рис. 4.

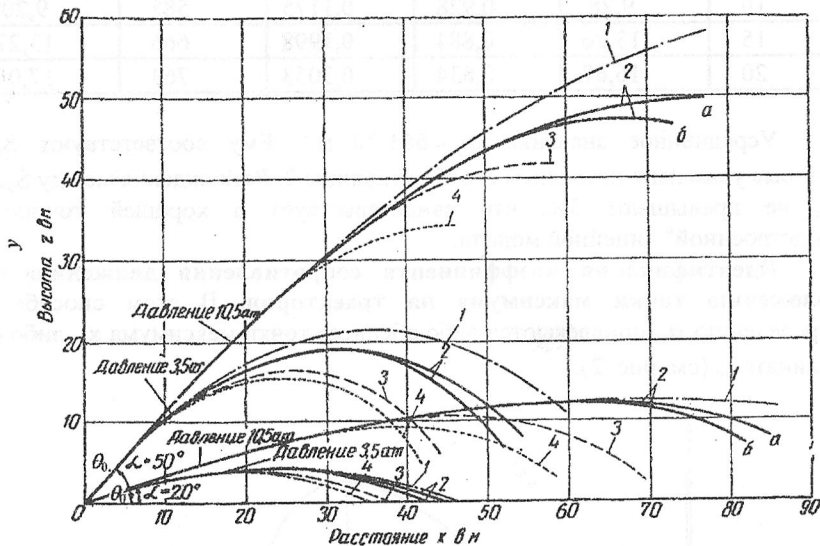


Рис. 3 – Траектории сплошных струй:

1 – идеальная параболическая траектория; 2 – лафетный ствол гидравлического института (США); а – диаметр насадка 76,2 мм; б – диаметр насадка 38,1 мм; 3 – 6-дюймовый лафетный ствол с насадком диаметром 38,1 мм; 4 – 3-дюймовый лафетный ствол с насадком диаметром 38,1 мм

Снимая показания на кривой "3" при разных углах Θ_0 и напорах H , а также используя формулу (5), приходим к числам в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты идентификации по замеренным x_e

I_0 , град	H , м	x_e , м	$10^3 \alpha_0$, м ⁻¹	x_e^* , м
20	35	20	522	20,02
20	105	49	525	49,22
50	35	27	516	26,99
50	105	57	506	56,45

Здесь α_0 слабо зависит от Θ_0 и H , что оправдывает выбор зависимости α_0 от v_0 в виде (1). Усредненное α_0 имеет значение $517 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$. Ему соответствуют расчетные x_e^* , записанные в последнем столбце таблицы 3. Расхождения между x_e и x_e^* меньше 1%.

Для проведения идентификации α_0 по результатам y_e следует использовать зависимость [6]

$$y_e = \frac{v_2}{\alpha} - \frac{g}{\alpha^2} \ln\left(1 + \frac{\alpha v_2}{g}\right),$$

в которой $v_2 = v_0 \sin \Theta_0$. Определение α_0 сводится к решению трансцендентного уравнения (2), причем $x = 2H\alpha_0 \sin \Theta_0$; $S = y_e (H \sin^2 \Theta_0)^{-1}$. Формально процесс идентификации повторяет тот, что был для вертикальной струи. Проиллюстрируем его примером.

Обращаясь к кривой "3" на рисунке 4, находим, что при $\Theta_0 = 20^\circ$, $H=35$ м ордината $y_e \approx 38$ м. Идентификация по этим данным приводит к $S \approx 0,928$; $x_n \approx 0,1175$; $\alpha_0 \approx 491 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$. На кривой "3" при $\Theta_0 = 50^\circ$, $H=105$ м ордината $y_e \approx 41$ м. Ей соответствует $S \approx 0,665$; $x_n \approx 0,7917$; $\alpha_0 \approx 492 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$. Значения α_0 , вычисленные по измеренным y_e , оказались несколько меньшими, чем по измеренным x_e .

С позиций точности, идентификацию α_0 при малых Θ_0 лучше проводить по замеренным x_e , а при больших Θ_0 - по замеренным y_e .

Идентификация коэффициента сопротивления движению после измерения горизонтальной протяженности траектории. Предполагаем, что разница ординат начальной и конечной точек траектории равна y_0 , как показано на рисунке 3. Разницу абсцисс конечной и начальной точек обозначим символом l . Тогда коэффициент α будет корнем трансцендентного уравнения [6]

$$z = -\frac{1}{L} \left[1 + \frac{1}{L} \ln(1-L) \right], \quad (6)$$

$$\text{в котором } L = \frac{6l}{v_0 \cos \Theta_0}; \quad z = \frac{(v_0 \cos \Theta_0)^2}{gl^2} (y_0 + l \cdot \text{tg} \Theta_0).$$

В условиях стандартизованных испытаний [13] $y_0 = 1$ м, $\Theta_0 = 30^\circ$. В этом случае $L = \frac{26l}{\sqrt{6gH}}$; $z = \frac{3H}{2l^2} \left(\frac{l}{\sqrt{3}} + 1 \right)$.

Графики зависимости $z(L)$ представлены на рис.4(а,б).

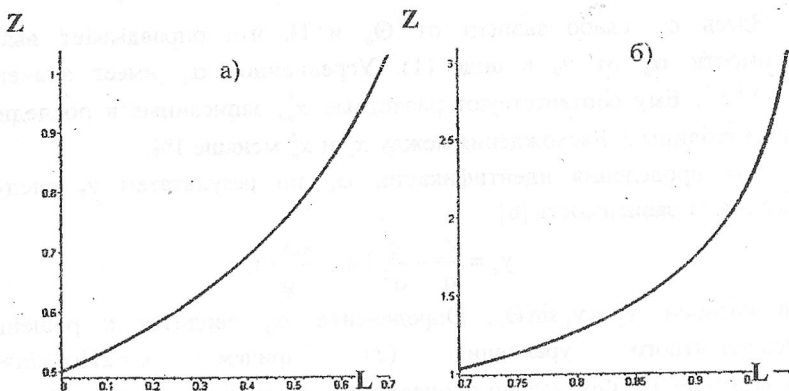


Рис. 4 – Зависимость $Z(L)$

Они позволяют по вычисленному z найти начальное приближение $L=L_0$. При $z > 2,5$ начальное приближение удобнее определить по формуле

$$L_0 \approx 1 - \exp(-z - 1).$$

Уточнение корня целесообразно проводить итерациями

$$L_{n+1} = \frac{(1 - L_n)[zL_n - L_n^{-1} \ln(1 - L_n)] - 1}{2z(1 - L_n) - 1}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (7)$$

Достигнув заданной точности в определении L_n , затем легко найти коэффициент сопротивления, поскольку $b_0 \approx L_n l^{-1} \cos I_0$.

Вычислим его для траектории "3" на рисунке 4 при $\Theta_0 = 20^\circ$, $H = 35$ м. Ее протяженность $l \approx 38,4$ м. Для этого расстояния $z \approx 0,586$. Ему на рисунке 5 соответствует $L_0 \approx 0,22$. Уточнения по формуле (7) дают: $L_1 \approx 0,2159$; $L_2 \approx 0,2157$; $L_3 \approx 0,2157$. Тогда $\alpha_0 \approx 528 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$, что удовлетворительно согласуется с результатами идентификации в таблице 3.

Используя изложенный способ идентификации, определим α_0 для пожарного ствола РСД-2. Изменяя напор от 50 до 110 м, при гостированных испытаниях этого ствола [14], получены протяженности сплошной струи l , записанные в табл. 4.

Таблица 4 - Результаты идентификации α_0 для ствола РСД-2.

$H, м$	$l_3, м$	z	L_n	$10^4 \alpha_0, м^{-1}$	l_p
50	21,0	2,232	0,9478	391	22,57
60	21,4	2,265	0,9674	391	23,18
70	22,6	2,888	0,9759	374	23,46
80	24,4	3,041	0,9797	348	23,68
90	25,1	3,320	0,9851	340	23,83
100	25,4	3,642	0,9895	337	23,93
110	25,9	3,924	0,9922	332	23,99

Значение α_0 оказалось зависящим от H . Согласно принятой модели оно подлежит усреднению. Выполнив эту операцию для указанного ствола, получаем $\alpha_0 \approx 0,0359 \cdot 10^{-5} м^{-1}$. Усредненному коэффициенту сопротивления соответствуют горизонтальные протяженности траектории l_p , записанные в последнем столбце таблицы 4. Расхождения между l_3 и l_p не превышают 9%, хотя истечение струи происходило при больших напорах.

ВЫВОДЫ:

Используя изложенные способы идентификации можно определить значения коэффициента аэродинамического сопротивления движению по замеренным параметрам траектории струи. В результате идентификации коэффициента линейная модель дает результаты, удовлетворительно согласующиеся с экспериментом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

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. Грицына И.Н. Математическая модель движения капельного потока огнетушащей жидкости. //Проблемы пожарной безопасности:Сб.науч.тр.-Вып.3. - Харків:ХИПБ, 1998.-С.55-57.
4. Запальський Л.Л. Моделювання траєкторії доставки засобів пожежогасіння методом метання. //Геометричне та комп'ютерне моделювання.-Вип.5.-Х.:ХДУХТ, 2004.-С.106-113.
5. Куценко Л.М., Бобов С.В., Росоха С.В. Методи геометричного моделювання в задачах пожежної безпеки. - Харків:АЦЗУ, 2004.-175 с.
6. Ольшанский В.П., Халыпа В.М., Дубовик О.А. Приближенные методы расчета гидравлических пожарных струй. – Харьков:Митець, 2004. – 116 с.

7. Росоха С.В. Геометрична форма струменя рідини з пожежного ствола з урахуванням опору повітря.//Праці Таврійської державної агротехнічної академії.-Вип.4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. – т.16.-Мелітополь:ГДАТА, 2002.-С.88-92.
8. Ольшанский В.П. Об одной полуэмпирической теории гидравлической пожарной струи.//Проблемы пожарной безопасности:Сб.науч.тр.АПБУ.-Вип.13.-Харьков:Фолио, 2003.-С.109-114.
9. Ольшанский В.П. О выборе значения коэффициента сопротивления движению при расчете траектории гидравлической пожарной струи.//Коммунальное хоз-во городов:Науч.-тех.сб.- К.:Техніка, 2004. – Вип.58.-С.253-258.
10. Латышенков А.М., Лобачев В.Г. Гидравлика. – М.:Гос. изд-во литературы по строит-ву и архитектуре, 1956.- 408 с.
11. Машиностроение. Энциклопедический справочник. – М.:ГНТИ, 1947. – т.1.- 400 с.
12. Ходаков В.Ф. Гидравлика в пожарном деле. - М.: Высшая школа МООП РСФСР, 1965. - 204 с.
13. Державні стандарти України. Пожежна безпека. Продукція протипожежного призначення. Перший випуск. - К.:Пожінформтехніка, 2000.- 640 с.
14. Антонов А.В., Присяжнюк В.В., Кравчуновський В.П. Дослідження ефективності застосування дослідного зразка ручного пожежного диспергувального ствола РСД-2.//Науковий вісник Укр. НДПБ. - №2. – 2002. – С.171-174.

УДК 355

Адаменко Н.И.

(ФВІП Харківського державного технічного університету будівництва і архітектури)

ВЫТЕКАНИЕ ЖИДКОСТИ ИЗ РЕЗЕРВУАРА В РЕЖИМЕ «ВЫСТРЕЛ С ПОДПОРОМ»

В статье описаны и математически смоделированы два режима работы автоматических установок пожаротушения, предназначенных для тушения взрывопожароопасных объектов.

Проблема обеспечения взрывопожарной безопасности арсеналов и складов с взрывчатыми веществами на данный момент является для Украины одной из наиболее актуальных в своей области. В связи с этим в данный период времени разрабатываются новые подходы к ее решению.