

УДК 533.6:628.5

doi 10.26089/NumMet.v16r445

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДУШНО-СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОГО УСТРОЙСТВА

К. И. Логачев<sup>1</sup>, А. И. Пузанок<sup>2</sup>, А. К. Логачев<sup>3</sup>, Е. И. Толмачева<sup>4</sup>

На основе дискретных вихревых особенностей многоугольной формы разработана математическая модель и компьютерная программа для расчета воздушно-струйного течения вблизи круглого всасывающего канала, экранированного кольцевым приточным отверстием, охватывающим этот канал. Произведена серия вычислительных экспериментов по определению параметров приточно-вытяжного устройства с наибольшей скоростью подтекающего воздуха.

**Ключевые слова:** вихревые течения, дискретные вихри, воздушные течения, всасывающий канал.

**Введение.** Главным элементом системы промышленной вентиляции является местный вентиляционный отсос (МВО). Расход воздуха, поступающий в МВО, прямо пропорционален мощности электродвигателя, который запускает систему местной вытяжной вентиляции. Основной проблемой промышленной вентиляции является снижение энергоемкости при сохранении свойств улавливания загрязняющих веществ [1–3]. В этой связи разработка методов повышения скорости воздуха, увлекающего загрязняющие вещества, при заданном расходе отсасываемого воздуха, а также методов расчета аспирационных [4–9], отрывных [9–15] и вихревых [16–20] течений является актуальной задачей.

Цель настоящей работы состоит в разработке математической модели и компьютерной программы для расчета течения вблизи экранированного приточной кольцевой струей вытяжного отверстия и определение параметров, способствующих повышению скорости подтекающего воздуха.

**1. Постановка задачи и основные расчетные соотношения.** Круглый патрубок содержит всасывающий канал радиуса  $r$  и кольцевое отверстие с внутренним радиусом  $r_1$  и внешним радиусом  $r_2$ , из которого истекает приточная струя (рис. 1).

Точка  $M$  удалена от входного сечения в канал на расстояние  $l$ . Обозначим  $r_2 - r_1 = d$ ; скорость внутри всасывающего канала равна  $v_0$ ; скорость в кольцевом отверстии равна  $v_p$ .

Для решения задачи воспользуемся методом дискретных вихревых многоугольников [21, 22]. Математическая постановка задачи состоит в решении уравнения Лапласа для потенциальной функции  $\varphi$ :

$$\Delta\varphi = 0,$$

при заданных значениях граничной нормальной составляющей скорости  $\left. \frac{\partial\varphi}{\partial n} \right|_S = v_n(x) - U_n$ , где  $x$  — точка граничной поверхности  $S$ . Функция  $U_n$  выражает влияние свободных вихрей, сходящихся с кромок трубы и кольцевого приточного отверстия.

Данное уравнение сводится к граничному сингулярному интегральному уравнению

$$\iint_S G(x, \xi)\omega(\xi) ds(\xi) = v_n(x) - \iint_\sigma \mu(\xi)G(x, \xi) d\sigma(\xi),$$

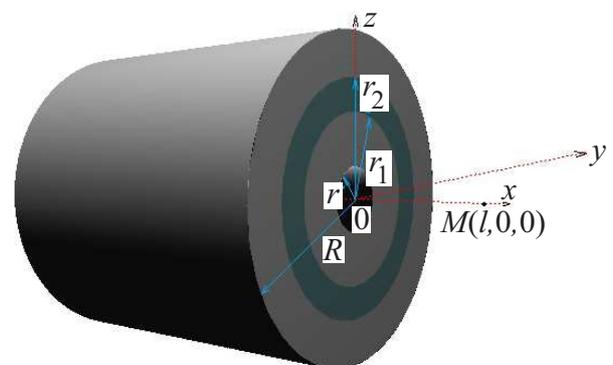


Рис. 1. Приточно-вытяжное устройство

<sup>1</sup> Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, ул. Костюкова, 46, 308012, г. Белгород; профессор, e-mail: kilogachev@mail.ru

<sup>2</sup> Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, ул. Костюкова, 46, 308012, г. Белгород; программист, e-mail: aruzanok@mail.ru

<sup>3</sup> Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, ул. Костюкова, 46, 308012, г. Белгород; аспирант, e-mail: artlogachev@mail.ru

<sup>4</sup> Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, ул. Костюкова, 46, 308012, г. Белгород; аспирант, e-mail: lenka\_110290@mail.ru

где  $\omega(\xi)$  — плотность циркуляции присоединенного вихревого слоя,  $\mu(\xi)$  — плотность циркуляции свободного вихревого слоя и  $\xi$  — произвольная точка поверхностей  $S$  или  $\sigma$ .

Влияние на произвольную точку  $x(x_1, x_2, x_3)$   $k$ -й вихревой  $N$ -угольной рамки единичной интенсивности определяется из выражения

$$\mathbf{G}(x, k) = \frac{1}{4\pi} \sum_{i=1}^N \frac{[(\mathbf{r}_{i+1}^k - \mathbf{r}_i^k) \times \mathbf{r}_i^k]}{|\mathbf{r}_{i+1}^k - \mathbf{r}_i^k|^2 |\mathbf{r}_i^k|^2 - ((\mathbf{r}_{i+1}^k - \mathbf{r}_i^k) \cdot \mathbf{r}_i^k)^2} \left( -\frac{(\mathbf{r}_{i+1}^k - \mathbf{r}_i^k) \cdot \mathbf{r}_{i+1}^k}{|\mathbf{r}_{i+1}^k|} + \frac{(\mathbf{r}_{i+1}^k - \mathbf{r}_i^k) \cdot \mathbf{r}_i^k}{|\mathbf{r}_i^k|} \right), \quad (1)$$

где  $\mathbf{r}_i^k = \{A_{1i}^k - x_1, A_{2i}^k - x_2, A_{3i}^k - x_3\}$  —  $i$ -вершина  $k$ -й многоугольной рамки.

Тогда индуцированная рамкой интенсивности  $\Gamma(k)$  скорость  $v$  в точке  $x$  вдоль направления  $\mathbf{n}$  вычисляется с помощью скалярного произведения  $v_n(x) = (\mathbf{G}(x, k) \cdot \mathbf{n})\Gamma(k)$ .

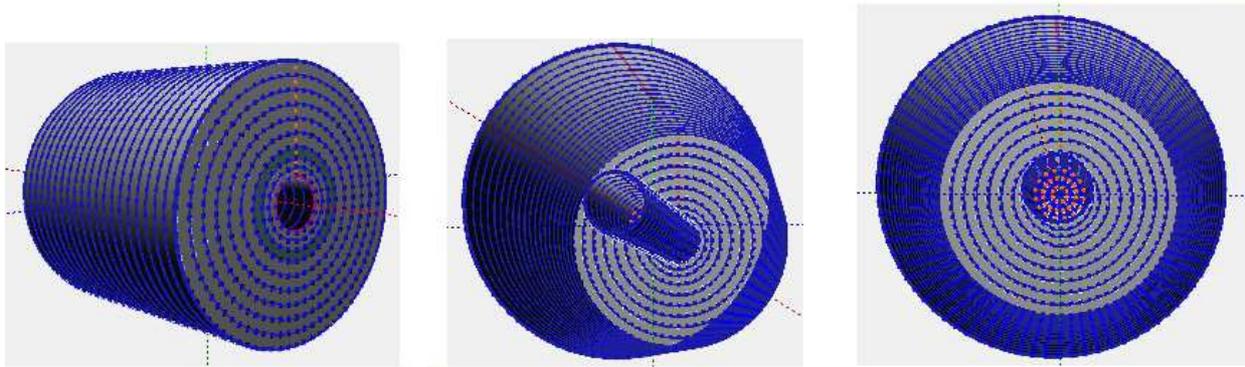


Рис. 2. Дискретизация границы области

Далее будем обозначать  $G^{pk} = (\mathbf{G}(x^p, k) \cdot \mathbf{n})$ , где  $x^p$  —  $p$ -я контрольная точка. Контрольные точки располагаются посередине между многоугольными вихревыми рамками, по поверхности трубы, на ее торце или в центре треугольных и четырехугольных вихревых рамок, расположенных во всасывающем сечении (рис. 2).

Заметим, что по всей рамке интенсивность  $\Gamma$  неизменна во всех точках вихревого многоугольника.

В момент времени  $t = m\Delta t$  система для определения неизвестных интенсивностей присоединенных вихревых рамок имеет следующий вид:

$$\sum_{k=1}^N G^{pk}\Gamma^k + \sum_{l=1}^3 \sum_{\tau=1}^m G^{p\tau l}\gamma^{\tau l} = v^p, \quad (2)$$

а скорость в данный момент времени во внутренней точке  $x$  вдоль заданного направления  $\mathbf{n}$  определяется путем суммирования на данную точку всех присоединенных и свободных рамок:

$$v_n(x) = \sum_{k=1}^N G^k\Gamma^k + \sum_{l=1}^3 \sum_{\tau=1}^m G^{\tau l}\gamma^{\tau l}, \quad (3)$$

где  $G^k$  — функция влияния на точку  $x$   $k$ -й вихревой рамки;  $\Gamma^k$  — ее циркуляция;  $G^{p\tau l}$  — функция влияния на контрольную точку  $x^p$  вихревой рамки, сошедшей с  $l$ -й острой кромки в момент времени  $\tau$ ;  $G^{\tau l}$  — функция влияния на точку  $x$  вихревой рамки, сошедшей с  $l$ -й острой кромки в момент времени  $\tau$ ;  $\gamma^{\tau l}$  — циркуляция свободной вихревой рамки, сошедшей с  $l$ -й острой кромки в момент времени  $\tau$ .

В следующий момент времени происходит сход новых вихрей, старые сдвигаются по направлению потока, определяются неизвестные циркуляции присоединенных вихрей путем решения системы (2) и т.д., пока не достигается заданная цель.

Новое положение вершины свободной рамки определяется из формул

$$x' = x + v_x\Delta t, \quad y' = y + v_y\Delta t, \quad z' = z + v_z\Delta t,$$

где  $(x, y, z)$  — координаты ее предыдущего положения,  $\{v_x, v_y, v_z\}$  — составляющие вектора скорости в этой точке (находятся с использованием формул (1), (3) вдоль направлений  $\mathbf{n} = \{1, 0, 0\}$ ,  $\mathbf{n} = \{0, 1, 0\}$ ,  $\mathbf{n} = \{0, 0, 1\}$  соответственно).

Если некоторая точка расположена по отношению к данной вихревой рамке на расстоянии, меньшем радиуса дискретности, то влияние этой вихревой рамки на данную точку не учитывается.

В каждый момент времени в поток будет сходиться три многоугольные вихревые рамки с интенсивностью, равной интенсивности многоугольной вихревой рамки, лежащей на срезе приточного отверстия и на границах приточного кольцевого сечения. Циркуляции этих вихревых свободных рамок с течением времени уже изменяться не будут. Изменяются лишь их положения.

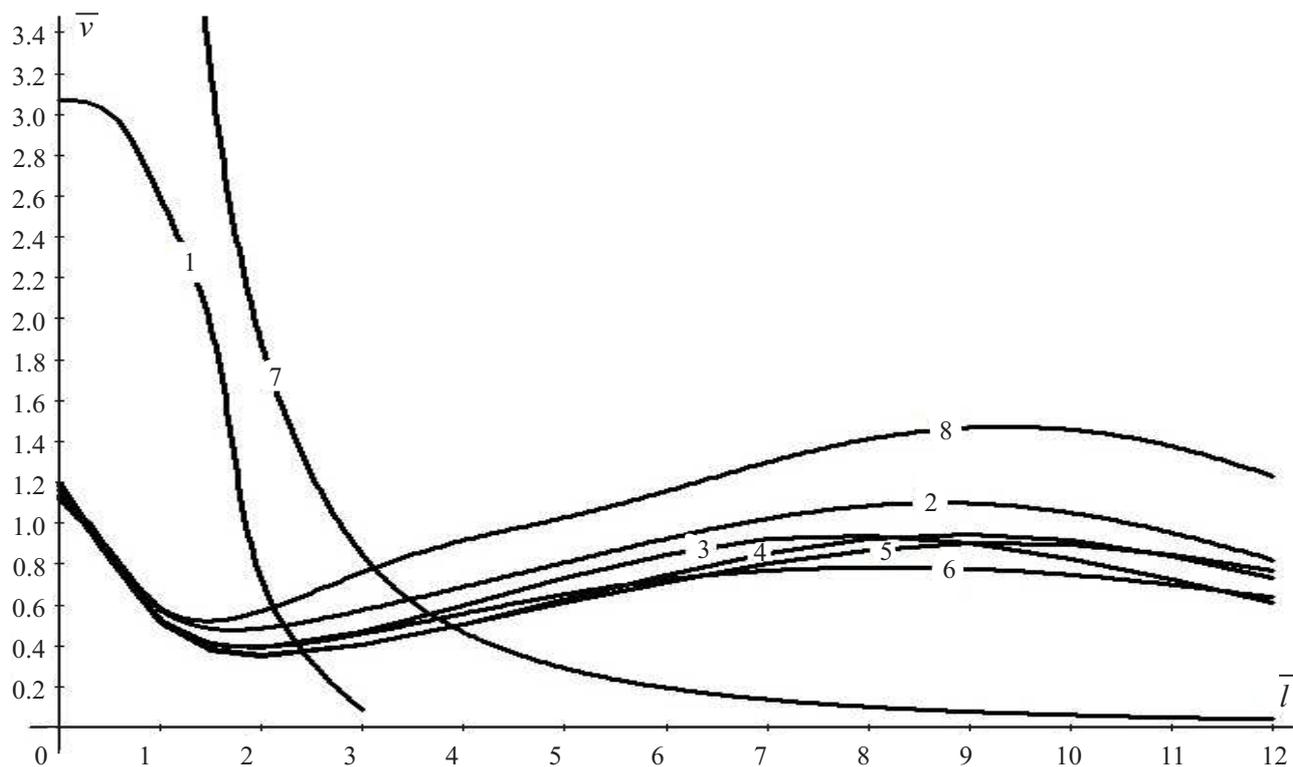


Рис. 3. Зависимость безразмерной осевой скорости от удаленности от всасывающего проема:  
 1)  $\bar{r}_1 = 1.2$ ,  $\bar{r}_2 = 2.2$ ; 2)  $\bar{r}_1 = 2.2$ ,  $\bar{r}_2 = 2.87$ ; 3)  $\bar{r}_1 = 4.3$ ,  $\bar{r}_2 = 4.68$ ; 4)  $\bar{r}_1 = 3.88$ ,  $\bar{r}_2 = 4.3$ ; 5)  $\bar{r}_1 = 3.41$ ,  $\bar{r}_2 = 3.88$ ;  
 6)  $\bar{r}_1 = 2.87$ ,  $\bar{r}_2 = 3.41$ ; 7) без приточного кольца; 8)  $\bar{r}_1 = 1.6$ ,  $\bar{r}_2 = 2.44$

**2. Результаты расчета и их обсуждение.** Результаты исследований представлены в безразмерном виде. Все линейные размеры измеряются в калибрах, т.е. отнесены к радиусу всасывающего канала:  $\bar{r}_1 = r_1/r$ ;  $\bar{r}_2 = r_2/r$ ;  $\bar{x} = x/r$ ;  $\bar{l} = l/r$ . Величины скорости отнесены к скорости во всасывающем канале:  $\bar{v} = v/v_0$ ,  $\bar{v}_p = v_p/v_0$  и т.д.

Расчет производился при следующих параметрах: длина трубы 2 м; радиус  $r = 0.1$  м; внешний радиус трубы  $R = 0.5$  м; скорость всасывания внутри трубы  $v_0 = 1$  м/с; количество круговых рамок 100; количество отрезков в рамке 16; шаг дискретности 0.02 м; скорость притока  $v_p = 5$  м/с; шаг по времени 0.004 с. Производилось моделирование до 200 шага по времени, вихри заполняли пространство на удалении 10 калибров от входа во всасывающий канал, затем расчет прекращался и производилось еще 200 шагов по времени, при этом скорость усреднялась за эти 200 шагов. Скорость притока  $v_p = 5$  м/с не изменялась при увеличении радиуса приточного кольца, но при этом расход воздуха сохранялся, а это неизбежно вело к изменению ширины кольца  $r_2 - r_1$ . Ширина уменьшалась при возрастании  $r_1$ .

Для удобства предоставления результатов расчета величина осевой скорости, или проекция скорости на ось симметрии считается положительной, если она направлена к трубе, т.е. в противоположном направлении оси  $OX$  (рис. 1).

Из расчетов (рис. 3) видно, что при  $\bar{r}_1 = 1.2$ ,  $\bar{r}_2 = 2.24$  (кривая 1) кольцевое приточное отверстие не способствует увеличению скорости подтекающего воздуха: при удалении более трех калибров от входа во всасывающий канал струя смыкается и воздух течет в обратном направлении. При отсутствии приточной струи (кривая 7) и отсосе воздуха со скоростью 17 м/с, обеспечивающей расход отсасываемого воздуха,

равного совокупному расходу отсасываемого и приточного воздуха, скорость подтекающего воздуха будет выше, чем при действии приточной струи в диапазоне до 3.5 калибра. Однако при других расположениях кольцевого приточного канала (кривые 2, 6–8), по крайней мере до 12 калибров, экранирование приточной кольцевой струей имеет смысл. Например, при удалении точки на 9 калибров скорость при экранировании будет выше более чем в 10 раз.

Наибольший эффект при экранировании наблюдается, когда  $\bar{r}_1 = 1.6$ ,  $\bar{r}_2 = 2.44$  (кривая 8). При дальнейшем увеличении радиуса кольцевой струи эффект снижается и кривые изменения скорости подтекающего воздуха близки между собой (кривые 3–6). Заметим, что кривые 2–6 и 8 имеют подобный характер поведения: вначале убывают и достигают минимума при  $l/r \approx 2$ , далее возрастают и достигают максимума в диапазоне  $l = 8 \div 10$ . При фиксации точки и изменении внутреннего радиуса кольца (рис. 4) наибольшая скорость на оси наблюдается при том же параметре  $\bar{r}_1 = 1.6$ . Отметим наличие минимума на кривых 2–6 при  $\bar{r}_1 \approx 3.5$ .

Рассмотрим случай, когда сохранения расхода приточной струи можно добиться иным способом: сохранением площади, но изменением скорости  $\bar{v}_p$ . Будем двигать кольцо шириной  $\bar{d} = 1$ .

При увеличении внутреннего кольца одинаковой ширины осевая скорость уменьшается при увеличении радиуса кольца в исследуемом диапазоне удаленности от всасывающего канала (рис. 5). Наибольшая осевая скорость подтекающего воздуха в рассматриваемом диапазоне наблюдается при минимальной толщине струи (рис. 6, кривая 1). Наименьший перепад подтекающего воздуха наблюдается на кривой 2. Во всех случаях расход воздуха, перетекающего через кольцевое отверстие, одинаков. Шаг по времени схода вихрей определялся отношением шага дискретности к начальной скорости истечения струи  $v_p$ .

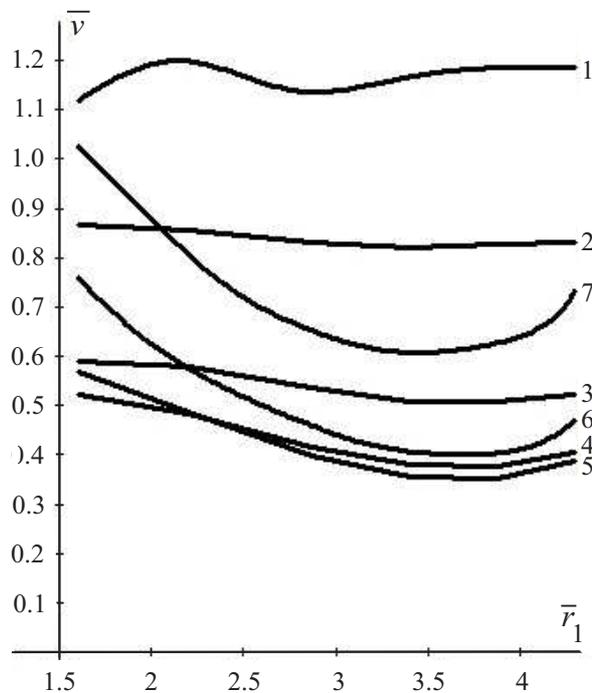


Рис. 4. Изменение безразмерной величины скорости от внутреннего радиуса кольца в разных точках на оси  $OX$ : 1)  $l = 0$ ; 2)  $l = 0.5$ ; 3)  $l = 1$ ; 4)  $l = 1.5$ ; 5)  $l = 2$ ; 6)  $l = 3$ ; 7)  $l = 5$

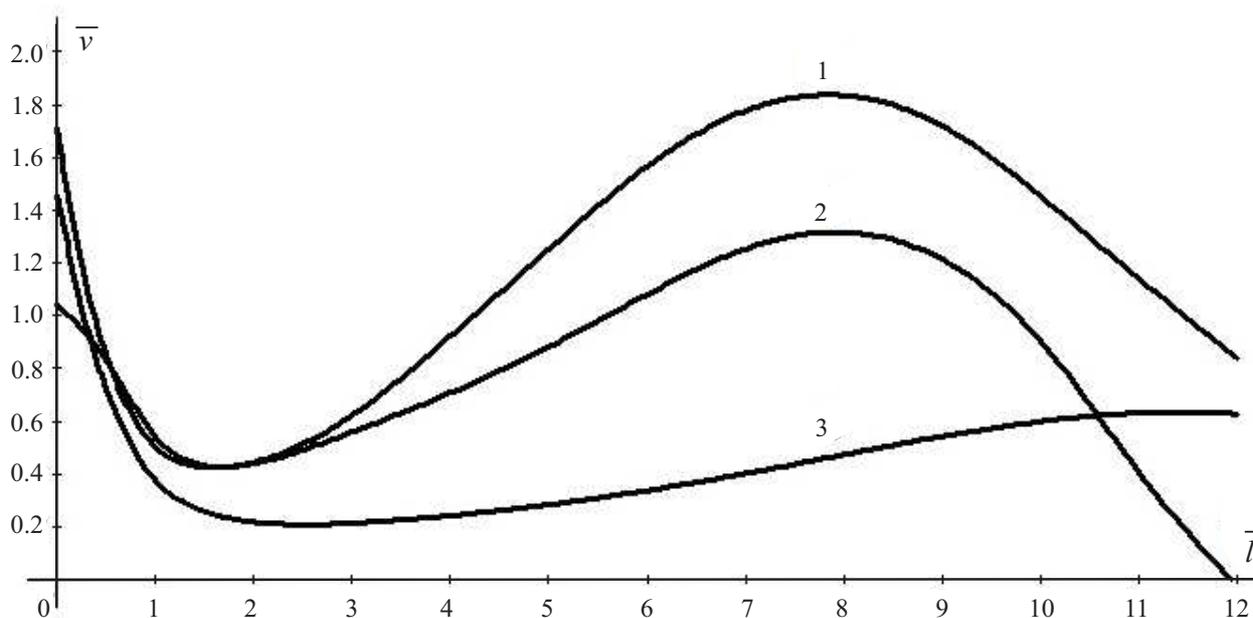


Рис. 5. Зависимость осевой скорости от смещения приточного кольца постоянной ширины:  
 1)  $\bar{r}_1 = 1.6$ ;  $\bar{r}_2 = 2.6$ ;  $\bar{v}_p = 4.05$ ; шаг по времени  $0.02/4.05$ ; 2)  $\bar{r}_1 = 2.6$ ;  $\bar{r}_2 = 3.6$ ;  $\bar{v}_p = 2.74$ ; шаг по времени  $0.0073$ ;  
 3)  $\bar{r}_1 = 3.6$ ;  $\bar{r}_2 = 4.6$ ;  $\bar{v}_p = 2.07$ ; шаг по времени  $0.0097$

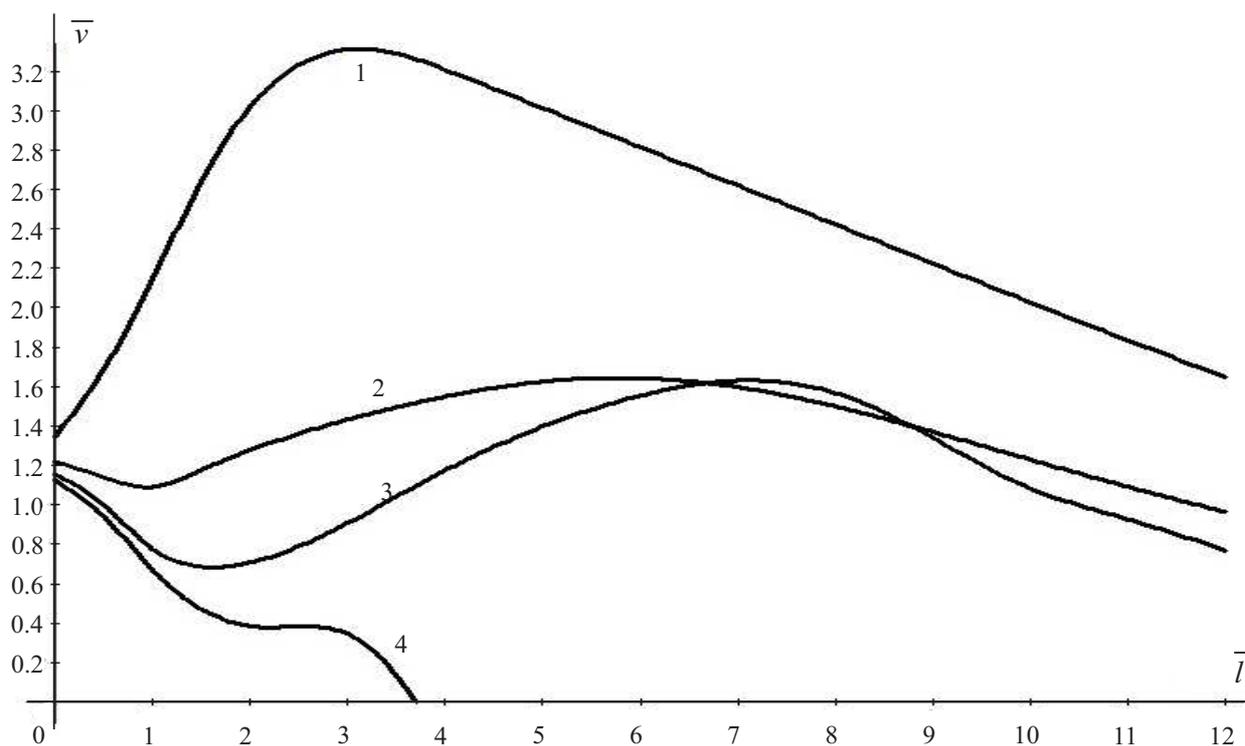


Рис. 6. Зависимость безразмерной величины осевой скорости от удаления от входного проема при:  
 1)  $\bar{r}_1 = 1.6$ ;  $\bar{r}_2 = 1.8$ ;  $\bar{v}_p = 21.7$ ; шаг по времени 0.00094; 2)  $\bar{r}_1 = 1.6$ ;  $\bar{r}_2 = 2$ ;  $\bar{v}_p = 10$ ; шаг по времени 0.002;  
 3)  $\bar{r}_1 = 1.6$ ;  $\bar{r}_2 = 2.4$ ;  $\bar{v}_p = 4.5$ ; шаг по времени 0.0044; 4)  $\bar{r}_1 = 1.6$ ;  $\bar{r}_2 = 3$ ;  $\bar{v}_p = 2.24$ ; шаг по времени 0.009

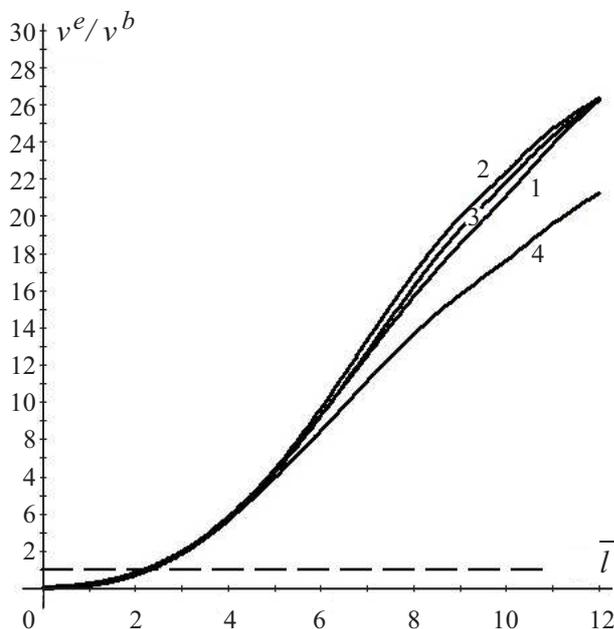


Рис. 7. Зависимость коэффициента кратности от удаленности до входа во всасывающий канал при экранировании струей при  $\bar{r}_1 = 1.6$  и  $\bar{r}_2 = 2$ : со скоростью  $\bar{v}_p$  равной: 1) 5; 2) 10; 3) 15; 4) 20

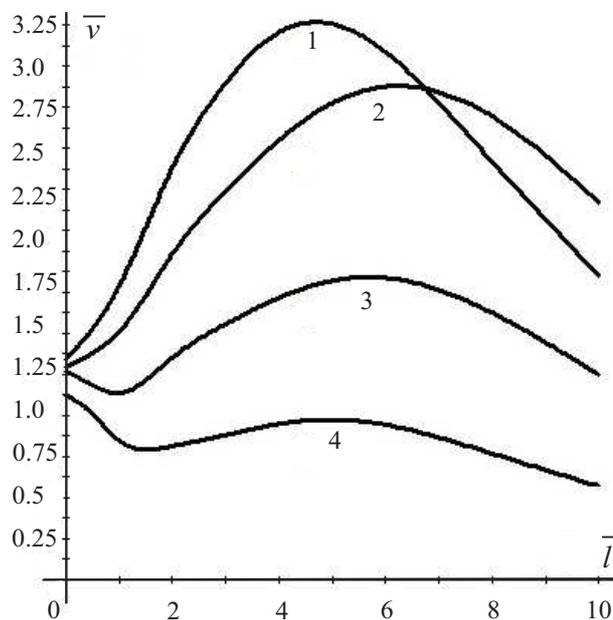


Рис. 8. Зависимость осевой скорости от удаленности до всасывающего проема при  $\bar{r}_1 = 1.6$  и  $\bar{r}_2 = 2$ : со скоростью  $\bar{v}_p$  равной: 1) 20; 2) 15; 3) 10; 4) 5

Построим кривые зависимости осевой скорости от скорости  $v_p$  при фиксированной толщине кольца  $\bar{r}_1 = 1.6$ ;  $\bar{r}_2 = 2$ .

Введем величину  $k = v^e/v^b$ , выражающую отношение скорости на оси отсоса при его экранировании кольцевой приточной струи к скорости на той же оси без экранирования, но при расходе воздуха во всасывающем отверстии, равном сумме расходов всасывающего канала и приточной струи для случая

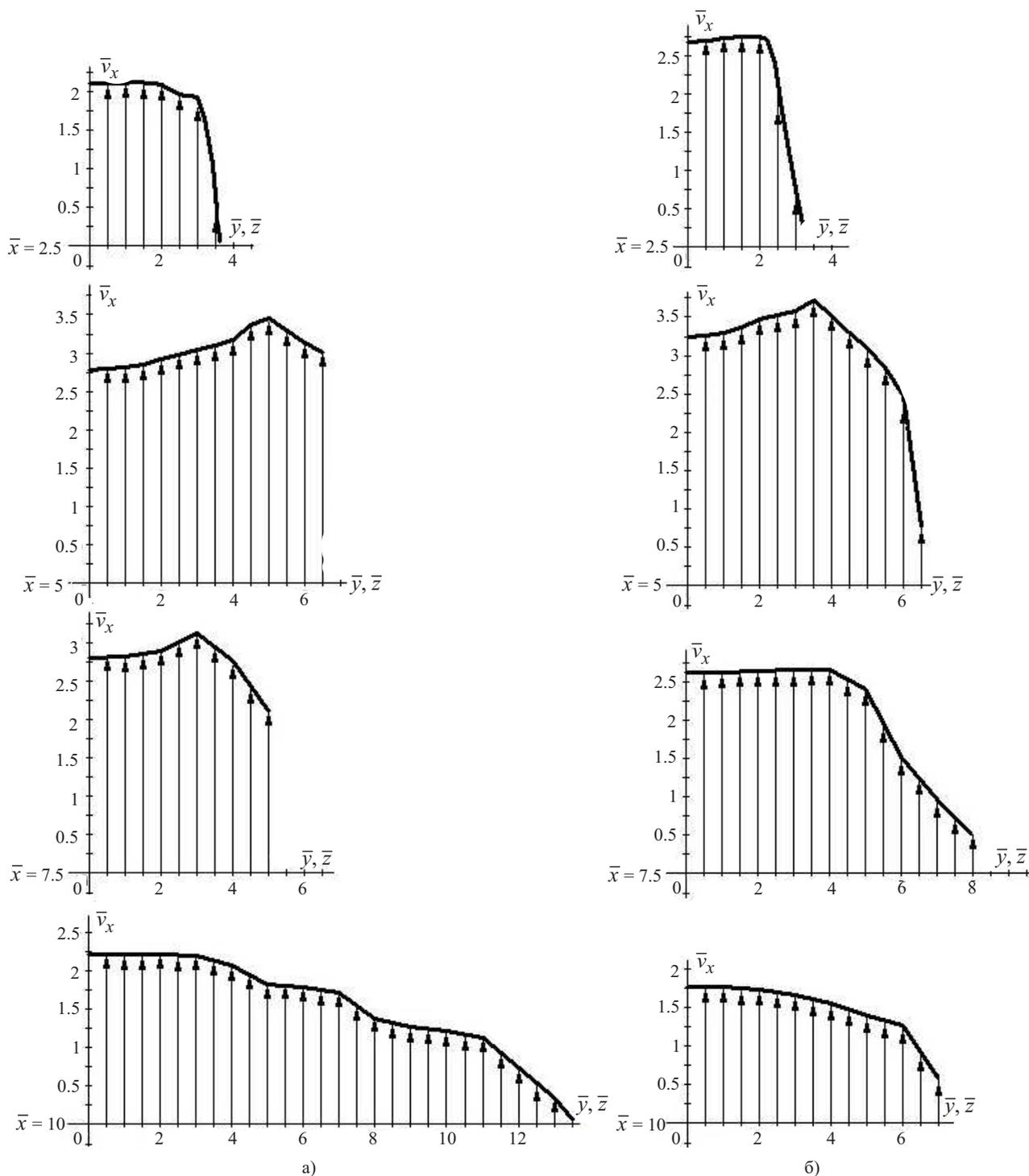


Рис. 9. Профиль скорости в разных сечениях  $\bar{x}$ : а)  $\bar{v}_p = 15$ ; б)  $\bar{v}_p = 20$

экранирования. Назовем эту величину коэффициентом кратности, поскольку он выражает, во сколько раз скорость при экранирующем эффекте приточной струи выше или ниже скорости без использования приточной кольцевой струи.

Как видно из рис. 7, примерно на расстоянии до 2 калибров эффекта от экранирования нет. Однако на большем удалении этот эффект значителен и осевая скорость может быть повышена более чем в два десятка раз. Если при соотношении скоростей  $\bar{v}_p = 5 \div 15$  (кривые 1–3) коэффициент кратности практически не изменяется, то при  $\bar{v}_p = 20$  (кривая 4) имеем заниженные результаты. Наибольшая эффективность экранирования наблюдается при  $\bar{v}_p = 10$ .

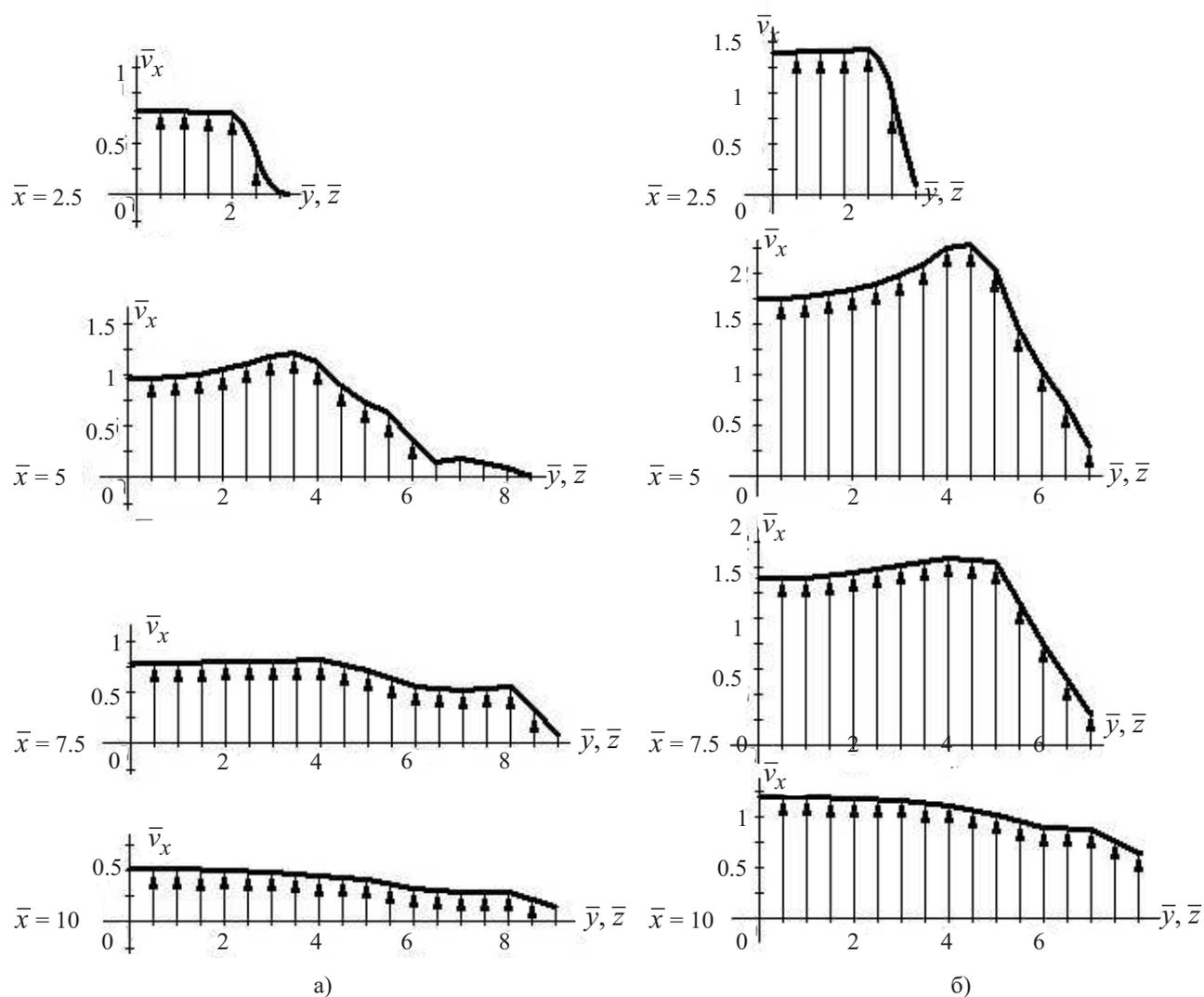


Рис. 10. Профиль скорости в разных сечениях  $\bar{x}$ : а)  $\bar{v}_p = 5$ ; б)  $\bar{v}_p = 10$

Величины осевой скорости, отнесенные к скорости всасывания, становятся выше при увеличении скорости приточной струи (рис. 8), но, как показывает рис. 7, это не означает, что наиболее эффективным является отсос с большей скоростью экранирующей струи.

Заметим, что не всегда выбросы являются точечными. Поэтому для практики необходимо знать профиль подтекающего к всасывающему каналу воздуха в проекции на ось симметрии. Из рис. 9 и 10 для каждой конкретной задачи о локализации выбросов загрязняющих веществ можно выбирать нужный вариант улавливающего устройства. Величина проекции скорости при удалении от оси отсоса изменяется незначительно в диапазоне от 2–10 калибров в зависимости от рассматриваемого сечения.

**Выводы.** На основании метода дискретных вихревых многоугольных рамок разработана математическая модель и компьютерная программа для расчета поля скоростей в спектре действия круглого всасывающего канала, экранированного кольцевой турбулентной струей, охватывающей вытяжное отверстие. Произведена серия вычислительных экспериментов, на основании которых выбраны наиболее оптимальные параметры экранированного отсоса: радиус внутреннего экранированного кольца 1.6 калибра, его ширина 0.2–0.4 калибра (калибр — радиус всасывающего канала), начальная скорость истекающей струи должна превышать скорость всасывания в 5–10 раз. В этом случае скорость подтекающего воздуха можно увеличить в десятки раз и повысить эффективность улавливания загрязняющих веществ при сохранении расхода перерабатываемого воздуха и затрат электроэнергии.

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента РФ (код проекта МК-103.2014.1) и РФФИ (код проекта 14-41-08005p\_офи\_м).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Посохин В.Н.* Расчет местных отсосов от тепло- и газовыделяющего оборудования. М.: Машиностроение, 1984.
2. *Посохин В.Н.* Аэродинамика вентиляции. М.: АВОК-Пресс, 2008.
3. *Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А.* Энергосбережение в аспирации. М.-Ижевск: РХД, 2013.
4. *Заринов Ш.Х., Зингареева Л.М., Киселев О.М.* Аспирация аэрозоля в трубу из неподвижной среды // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2000. № 2. 104–109.
5. *Гильфанов А.К., Заринов Ш.Х., Маклаков Д.В.* Расчет концентраций частиц в задаче аспирации аэрозоля в тонкостенную трубу // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2009. № 6. 89–99.
6. *Хоперсков А.В., Азаров В.Н., Хоперсков С.А., Коротков Е.А., Жумалиев А.Г.* Формирование нестационарных режимов при моделировании аспирационных течений: неустойчивость Кельвина–Гельмгольца // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1: Математика. Физика. 2011. № 1. 151–155.
7. *Хоперсков А.В., Шафран Ю.В., Бутенко М.А.* Численное моделирование вентиляционных течений в промышленных помещениях // Южно-Сибирский научный вестник. 2014. № 2. 98–102.
8. *Шафран Ю.В., Бутенко М.А., Кузьмин Н.М., Хоперсков А.В.* Программное обеспечение для оптимизации системы вентиляции крупных промышленных цехов // Современные информационные технологии и ИТ-образование. М.: Изд-во Моск. гос. унив., 2014. 509–517.
9. *Храпов С.С., Кобелев И.А., Писарев А.В., Хоперсков А.В.* 4D-модели в задачах экологического моделирования: проектирование информационной системы // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1: Математика. Физика. 2011. № 5. 119–124.
10. *Аверкова О.А., Логачев И.Н., Логачев К.И., Логачев А.К.* Закономерности отрывного течения при входе в выступающий канал с экранами // Ученые записки ЦАГИ. 2013. 44, № 2. 33–49.
11. *Логачев И.Н., Логачев К.И., Зоря В.Ю., Аверкова О.А.* Моделирование отрывных течений вблизи всасывающей щели // Вычислительные методы и программирование. 2010. 11. 43–52.
12. *Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А.* Математическое моделирование отрывных течений при входе в экранированный плоский канал // Вычислительные методы и программирование. 2010. 11. 68–77.
13. *Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А.* Математическое моделирование струйного течения воздуха при входе в плоский канал с козырьком и непроницаемым экраном // Вычислительные методы и программирование. 2010. 11. 160–167.
14. *Аверкова О.А., Логачев И.Н., Логачев К.И.* Моделирование потенциальных течений с неизвестными границами на основе стационарных дискретных вихрей // Вычислительные методы и программирование. 2011. 12. 213–219.
15. *Аверкова О.А., Логачев И.Н., Логачев К.И.* Моделирование отрыва потока на входе во всасывающие каналы в областях с разрезами // Вычислительные методы и программирование. 2012. 13. 298–306.
16. *Логачев К.И., Пузанок А.И., Посохин В.Н.* Расчет течений на входе в отсосы-раструбы методом дискретных вихрей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2004. № 7–8. 61–69.
17. *Логачев К.И., Посохин В.Н.* Расчет течения вблизи круглого всасывающего патрубка // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2004. № 1. 29–32.
18. *Логачев К.И., Пузанок А.И., Посохин В.Н.* Расчет вихревого течения у щелевидного бокового отсоса // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2004. № 6. 64–69.
19. *Логачев К.И., Пузанок А.И., Селиванова Е.В.* Численный расчет течения вблизи экранированного отсоса-раструба // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2005. № 6. 53–58.
20. *Логачев И.Н., Логачев К.И.* Аэродинамические основы аспирации. СПб.: Химиздат, 2005.
21. *Белоцерковский С.М., Гиневский А.С.* Моделирование турбулентных струй и следов на основе метода дискретных вихрей. М.: Физматлит, 1995.
22. *Лифанов И.К.* Метод сингулярных интегральных уравнений и численный эксперимент. М.: Янус, 1995.

Поступила в редакцию  
21.07.2015

## Numerical Modeling of Air-Jet Flows under the Action of an Input-Exhaust System

K. I. Logachev<sup>1</sup>, A. I. Pusanok<sup>2</sup>, A. K. Logachev<sup>3</sup>, and E. I. Tolmacheva<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Shukhov Belgorod State Technological University; ulitsa Kostyukova 44, Belgorod, 308012, Russia; Dr. Sci., Professor, Head of Department, e-mail: kilogachev@mail.ru*

<sup>2</sup> *Shukhov Belgorod State Technological University; ulitsa Kostyukova 44, Belgorod, 308012, Russia; Ph.D., Programmer, e-mail: apuzanok@mail.ru*

<sup>3</sup> *Shukhov Belgorod State Technological University; ulitsa Kostyukova 44, Belgorod, 308012, Russia; Graduate Student, e-mail: artlogachev@mail.ru*

<sup>4</sup> *Shukhov Belgorod State Technological University; ulitsa Kostyukova 44, Belgorod, 308012, Russia; Graduate Student, e-mail: lenka\_110290@mail.ru*

Received July 21, 2015

**Abstract:** Based on the discrete vortex features of polygonal shape, a mathematical model and a computer software are developed to study air-jet flows near a circular suction channel screened by an annular inlet. The parameters of an input-exhaust system with the largest velocity of incoming air are numerically determined.

**Keywords:** vortex flows, discrete vortices, air flows, suction channel.

### References

1. V. N. Posokhin, *Local Suction Analysis in Heat and Gas Delivery Plants* (Mashinostroenie, Moscow, 1984) [in Russian].
2. V. N. Posokhin, *Aerodynamics of Ventilation* (ABOK Press, Moscow, 2008) [in Russian].
3. I. N. Logachev, K. I. Logachev, and O. A. Averkova, *Energy Saving in Aspiration* (Regular and Chaotic Dynamics Press, Izhevsk, 2013) [in Russian].
4. Sh. Kh. Zaripov, L. M. Zigangareeva, and O. M. Kiselev, "Aerosol Aspiration into a Tube from a Calm Medium," *Izv. Akad. Nauk, Mekh. Zhidk. Gaza*, No. 2, 104–109 (2000) [*Fluid Dyn.* **35** (2), 242–246 (2000)].
5. A. K. Gil'fanov, Sh. Kh. Zaripov, and D. V. Maklakov, "Calculation of Particle Concentration in the Problem of Aerosol Aspiration into a Thin-Walled Tube," *Izv. Akad. Nauk, Mekh. Zhidk. Gaza*, No. 6, 89–99 (2009) [*Fluid Dyn.* **44** (6), 873–881 (2009)].
6. A. V. Khoperskov, V. N. Azarov, S. A. Khoperskov, et al., "Formation of Transient Regimes in the Simulation of Aspiration Flows: Kelvin–Helmholtz Instability," *Vestn. Volgograd Univ. Ser. Mat. Fiz.*, No. 1, 151–155 (2011).
7. A. V. Khoperskov, Yu. V. Shafran, and M. A. Butenko, "Numerical Simulation of Ventilation Flows in Industrial Buildings," *Yuzno-Sib. Nauch. Vestn.* No. 2, 98–102 (2014).
8. Yu. V. Shafran, M. A. Butenko, N. M. Kuz'min, and A. V. Khoperskov, "Software for the Optimization of Ventilation Systems for Large Industrial Buildings," in *Information Technologies and IT-Education* (Mosk. Gos. Univ., Moscow, 2014), pp. 509–517.
9. S. S. Khrapov, I. A. Kobelev, A. V. Pisarev, and A. V. Khoperskov, "4D-Models in the Problems of Ecological Modeling: Information System Design," *Vestn. Volgograd Univ. Ser. Mat. Fiz.*, No. 5, 119–124 (2011).
10. O. A. Averkova, I. N. Logachev, K. I. Logachev, and A. K. Logachev, "The Principles of Separated Flow at the Inlet of the Protruding Duct with Screens," *Uchen. Zap. TsAGI* **44** (2), 33–49 (2013) [*TsAGI Sci. J.* **44** (2), 219–243 (2013)].
11. I. N. Logachev, K. I. Logachev, V. Yu. Zorya, and O. A. Averkova, "Modeling of Separated Flows near a Suction Slot," *Vychisl. Metody Programm.* **11**, 43–52 (2010).
12. I. N. Logachev, K. I. Logachev, and O. A. Averkova, "Mathematical Simulation of Separated Flows at the Inlet of a Plane Screened Channel," *Vychisl. Metody Programm.* **11**, 68–77 (2010).
13. I. N. Logachev, K. I. Logachev, and O. A. Averkova, "Mathematical Simulation of Air Jet Flow at the Entrance of a Plane Channel Equipped with a Shield and an Impermeable Screen," *Vychisl. Metody Programm.* **11**, 160–167 (2010).
14. O. A. Averkova, I. N. Logachev, and K. I. Logachev, "Modeling of Potential Flows with Unknown Boundaries on the Basis of Stationary Discrete Vortices," *Vychisl. Metody Programm.* **12**, 213–219 (2011).
15. O. A. Averkova, I. N. Logachev, and K. I. Logachev, "Modeling of Flow Separation at the Inlet of a Suction Channel in Regions with Cuts," *Vychisl. Metody Programm.* **13**, 298–306 (2012).
16. K. I. Logachev, A. I. Pusanok, and V. N. Posokhin, "Simulation of Flow Separation at the Inlet of a Suction Channel in Cut Domains," *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved., Probl. Energet.*, No. 7–8, 61–69 (2004).
17. K. I. Logachev and V. N. Posokhin, "Calculation of a Flow in the Vicinity of a Round Suction Pipe," *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved., Aviats. Tekh.*, No. 1, 29–32 (2004).
18. K. I. Logachev, A. I. Pusanok, and V. N. Posokhin, "Calculation of a Vortex Flow near a Slit Side Suction," *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved., Stroitel'stvo*, No. 6, 64–69 (2004).
19. K. I. Logachev, A. I. Pusanok, and E. V. Selivanova, "Calculation of a Flow near a Screened Suction Nozzle," *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved., Stroitel'stvo*, No. 6, 53–58 (2005).
20. I. N. Logachev and K. I. Logachev, *Aerodynamic Foundations of Aspiration* (Khimizdat, St. Petersburg, 2005) [in Russian].

21. S. M. Belotserkovskii and A. S. Ginevskii, *Simulation of Turbulent Jets and Wakes on the Basis of the Discrete Vortex Method* (Fizmatlit, Moscow, 1995) [in Russian].
22. I. K. Lifanov, *The Method of Singular Integral Equations and Numerical Experiments* (Yanus, Moscow, 1995) [in Russian].