

*Памяти выдающихся учёных в  
области вентиляции  
С.Е. Бутакова и М.И. Гримит-  
лина посвящается.*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Предлагаемая вниманию читателей книга в первой редакции была подготовлена и включена в план выпуска издательства литературы для строительства («Стройиздат») ещё в 1995 году. В связи с ликвидацией издательства она так и не вышла в свет. Сказалось общее положение дел в стране, когда промышленная тематика в целом и вентиляция, как ее составная часть, особого интереса не представляли. Тем не менее, вузовская наука сохраняла интерес к промышленной вентиляции, не смотря на сложившееся положение.

В настоящее время можно отметить положительные изменения в отношении к производственной деятельности, что позволяет надеяться на восстановление должного внимания к промышленной вентиляции.

В современном промышленном производстве наблюдается интенсификация технологических процессов. При этом все большее внимание уделяется сокращению объемов вредных веществ, поступающих в воздух рабочей зоны и в атмосферу планеты. Повышаются требования к состоянию воздушной среды в производственных помещениях и экологические нормативы, относящиеся к составу и объемам выбросов в атмосферу. Снижению степени техногенного влияния на природу, включая жизнь людей, должна способствовать и тенденция к переходу на «зеленое» строительство. Пока этот переход проявляется главным образом в вопросах, связанных с энергетикой, проблемой «парникового» эффекта, проектированием и возведением гражданских зданий и сооружений. Углубленного интереса к промышленным объектам в программах «зеленого» строительства пока не наблюдается, к сожалению. Несмотря на создание новых технологий, в отраслях промышленности, таких, например, как металлургическая, химическая, машиностроительная, валовые выделения вредных газов, паров и пыли по-прежнему остаются высокими.

Следуя по любой технологической цепочке, можно заметить, что вредные факторы прежде всего действуют на работников, находя-

щихся в производственных помещениях. Поэтому первоочередной задачей объективно можно считать предотвращение влияния вредных факторов на людей и соблюдение нормативов качества воздуха в рабочей зоне. К следующему кругу задач следует отнести управление локальными потоками вредных веществ, выбывающих через технологические проемы, и транспортировка этих веществ к улавливающим устройствам. Последним этапом является нейтрализация уловленных паров, газов и пыли.

В свете сказанного и с учетом того, что в практике местной промышленной вентиляции остается много нерешенных вопросов, на кафедре «Теплогазоснабжение и вентиляция» Уральского политехнического института (теперь Уральского федерального университета) было сформировано научно-практическое направление «Разработка основ совершенствования организации и расчета вентиляционных процессов, позволяющих поддерживать параметры воздушной среды рабочих помещений на уровне нормативных с минимальными затратами энергии и материальных средств».

Не претендуя на всеобъемлющее решение всего комплекса задач, связанных с санитарно-гигиеническими и экологическими проблемами в промышленности, авторы настоящей книги рассматривают первые две из указанных выше задач, считая их основополагающими.

При этом в качестве базовых объектов для теоретических исследований, лабораторных и промышленных экспериментов, опытно-конструкторских разработок были выбраны:

- устройства, создающие воздушный экран, препятствующий попаданию вредных веществ в рабочую зону;
- устройства, отделяющие с помощью воздушного экрана фиксированный объем рабочей зоны от общего пространства цеха;
- устройства, изменяющие аэродинамическими методами направление движения потока вредных веществ и обеспечивающие транспортировку его к местному отсосу;
- воздушные завесы, обеспечивающие соблюдение температурных нормативов в рабочей зоне вблизи ворот промышленных зданий.

Предварительная оценка существующих решений и опыта их реализации позволила считать, что функционирование указанных устройств чаще всего оказывается связанным с проявлением эффекта Коанда. Анализ ситуации, выполненный авторами, показал не только необходимость учета, но и целесообразность использования упомянутого эффекта. Нужно только создать условия для его проявления.

Комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ выполнялся авторами в два этапа.

1. Теоретическое и экспериментальное исследования плоских и кольцевых вентиляционных струй в условиях проявления эффекта Коанда. Выявление наиболее характерных для процессов вентиляции случаев взаимодействия двухмерных (или квазидвухмерных) струй с преградами, нарушающими симметрию потоков, эжектируемых струями. Аналитическое исследование процесса управления отрывом пограничного слоя применительно к вентиляционным устройствам.

2. Исследование вентиляционных процессов, в которых необходимо учитывать и целесообразно использовать эффект деформации струй. Разработка общих принципов организации местной приточной и вытяжной вентиляции с использованием результатов выполненных исследований аэродинамики вентиляционных потоков. Разработка методик расчета и конструирования элементов систем местной вентиляции, связанных с конкретными технологическими процессами.

Результаты теоретических исследований, их экспериментальной проверки и использования в производственных условиях представлены в предлагаемой книге.

Здесь, на базе единого подхода дано представление о развитии деформированных струй, которые являются основой разработанных авторами устройств местной вентиляции.

Обоснование и разработка единого подхода к изучению деформированных струй, создание базовых положений общей теории этого типа течений и их реализации в практике промышленной вентиляции принадлежат В.Д. Столеру. Над решением ряда конкретных теоретических и экспериментальных задач, связанных с ВСУ, а также над реализацией их практических приложений работали: Р.Р. Бикмуллин, Ю.Л. Савельев, Ю.А. Иванов, Г.Ю. Хватов. Аналитическое обоснование, создание и внедрение эффективных устройств для улавливания потока газов принадлежат В.Л. Шегалу. Тема циркуляционных воздушных завес рассматривалась совместно В.Д. Столером и В.Л. Шегалом.

За время, прошедшее с 1995 года, авторами были доработаны, а в ряде случаев переработаны и дополнены некоторые разделы. Настоящая редакция книги включает сделанные изменения и дополнения.

Нельзя не отметить, что задачи, касающиеся рассматриваемых струйных течений, могут быть решены с помощью методов вычисли-

тельной гидроаэродинамики на основе уравнений Навье-Стокса. Однако широкое использование этих методов в инженерной практике в настоящее время оказывается труднодоступным. Кроме того, инженерные приложения научных исследований чаще всего не требуют глубокого и полного учета всех факторов, характеризующих процесс. Поэтому привлечение более простого интегрального метода Л. Эйлера в случаях, касающихся инженерных тем, своей актуальности не теряет. Особенно, когда имеется корректно составленная модель изучаемого явления. Возможность такого подхода была отмечена в свое время академиком М.А. Лаврентьевым\*, который полагал, что рассматриваемый класс потоков, к которым можно отнести представленные в книге струйные течения, может быть исследован без привлечения сложного математического аппарата, но при корректно составленной физической и математической модели.

Главы 2, 3, 5–7, раздел 4.5 написаны В.Д. Столером. Введение и главы 1, 2, 4, 5, заключение – Ю.Л. Савельевым; главы 3–5 – Ю.А. Ивановым, глава 6 – В.Л. Шегалом. Общая редакция книги и внесение дополнений выполнены в 2016 году Ю.Л. Савельевым.

Авторы с чувством глубокой признательности вспоминают профессора М.И. Гримитлина, поддержавшего выбранное ими направление исследований и давшего ряд ценных советов теоретического и практического характера.

Особая благодарность Н.Н. Подорвановой и И.П. Столер за активную помощь в оформлении рукописи.

---

\* Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Методы теории функции комплексного переменного. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1973. – 749 с.

# **1. ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗДУШНЫХ СТРУЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕСТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ**

## **1.1. Классификация устройств, локализирующих источники загрязнения воздуха**

В локализирующей вентиляции для улавливания вредных веществ, выделяющихся в ходе технологических процессов, используются местные отсосы (см., например, [1-9]). Наиболее надежными и экономичными являются местные отсосы закрытого типа: вытяжные шкафы, кожухи, камеры и другие подобные устройства. В них создается разрежение, препятствующее выбиванию вредных веществ через неплотности и рабочие проемы. К сожалению, такие укрытия могут мешать и ходу технологического процесса, и наблюдению за ним. Поэтому в промышленной вентиляции более широко применяются местные отсосы открытого типа. Например, зонты, боковые, бортовые и кольцевые отсосы. Но удачные варианты расположения и форм воздухоприемной части такого отсоса, позволяющие использовать для улавливания собственную энергию потока вредных веществ, не всегда удается реализовать. Поэтому в большинстве случаев при работе отсоса открытого типа необходимо создавать такое поле скоростей, при котором траектории результирующего движения всех частиц замыкаются на всасывающем отверстии. Необходимая скорость результирующего потока при этом определяется относительно точки источника вредностей, самой удаленной от всасывающего отверстия. При этом, как известно, специфическое распределение скоростей в факеле всасывания неизбежно приводит к необходимости удалять завышенные объемы воздуха. С этим сопряжен рост капитальных затрат и перерасход в потреблении электроэнергии и тепла.

В ряде случаев отсасывающие устройства активируются приточными струями. Многочисленные исследования, проведенные у нас в стране и за рубежом, показали, что система «приточная струя – отсасывающее устройство» при правильной ее организации эффективнее обычных отсосов. Такая система обеспечивает более надежное улавливание газов, паров и пыли при значительно (в 1,5-3,0 раза) меньших объемах удаляемого воздуха. Между тем известные из справочной

литературы решения базируются зачастую на упрощенном представлении о физических явлениях, сопровождающих работу указанной системы. В результате, методики расчета и конструирования ряда активированных отсосов содержат ошибочные положения. Отсутствует и единая терминология. Передувки, сдувки, воздушные завесы, воздушные экраны и воздушные стенки, местные отсосы с поддувом воздуха, система «струя – отсос», активированные местные отсосы – эти и другие названия можно встретить в технической литературе по отношению к устройствам, действующим на основе одних и тех же физических явлений. И, наоборот, один и тот же термин применяют для обозначения устройств, эффективность работы которых объясняется совсем иными причинами.

Авторы предлагают считать активированными местными отсосами такие устройства, в которых струя, вбирающая в себя выделяющиеся вредные вещества, транспортирует их к отсасывающему воздухоприемнику. При этом активирующая струя может быть компактной, плоской, кольцевой или представляет систему компактных струй. Но, в любом случае, она разделяет зоны чистого и загрязненного воздуха.

Следует различать два типа активированных местных отсосов. К первому типу относятся устройства со свободной струей. Устройства, называемые воздушно-струйными укрытиями (ВСУ), можно характеризовать как второй тип.

В активированном местном отсосе первого типа (см., например, [3, 8]), используются эжекционные свойства свободной затопленной струи, которая по отношению к чистому или загрязненному воздуху представляет собой систему элементарных стоков. Распределение и мощность элементарных стоков зависят от формы приточного насадка и начальных параметров струи. Проходя через зону, содержащую вредные вещества, струя вбирает их в себя и переносит к отсасывающему отверстию. Таким образом, приточная струя выступает одновременно в роли «приемника» загрязненного воздуха и его «транспортера». Расположение такого «приемника» непосредственно в зоне выделения вредных веществ позволяет снизить расходы удаляемого воздуха. Соответственно снижаются материальные затраты, связанные с работой систем вентиляции.

При активированном местном отсосе первого типа в случае, когда отсутствует влияние ограждающих поверхностей элементов оборудования или строительных конструкций, архимедовых сил или снося-

шего потока струя сохраняет первоначальное направление. Через отсасывающее устройство удаляется полный объем газовой смеси, заключенный в струе:

$$L_{\text{отс}} = L_0 + L_э + L_{\text{пг}}, \quad (1.1)$$

где  $L_0$  – начальный расход струи;

$L_э, L_{\text{пг}}$  – расход соответственно воздуха и парогазовых выделений, эжектированных струей.

Отличительной особенностью активированных местных отсосов второго типа (см., например, [3, 4, 6, 8]) является наличие замкнутой зоны, заключенной между двухмерной струей и стенками, которые являются элементами технологического оборудования или устанавливаются специально. Воздушная струя, препятствующая распространению вредных веществ, не мешает технологическому процессу и оставляет оборудование открытым для контроля и наблюдения. Расход удаляемого воздуха в этом случае равен сумме начального расхода струи, расхода воздуха, эжектированного струей из свободного пространства, и расхода парогазовых компонентов, выделяющихся в замкнутой зоне

$$L_{\text{отс}} = L_0 + 0,5L_э + L_{\text{пг}}. \quad (1.2)$$

Таким образом, общий расход удаляемого воздуха при прочих равных условиях оказывается меньше, чем у отсоса первого типа. Промежуточное положение занимает активированный отсос с полуограниченной плоской или кольцевой струей. В некоторых условиях этот вариант представляется как половина симметричного течения с сохранением свойств и принципа действия активированного отсоса первого типа. Например, при панельном отсосе со струей, настилающейся на поверхность источника загрязняющих веществ (см., например, [1-7]). Такое решение является частным случаем ВСУ с замкнутой зоной нулевого объема.

Наряду с вышеуказанными устройствами находят применение системы локализации вредных веществ с подачей в зону всасывания необработанного воздуха (см., например, [6]). Воздух с малыми скоростями подается непосредственно у кромки бокового отсоса или зонта. В таких системах общая производительность местного отсоса не уменьшается, лишь сокращается расход воздуха, подсосываемого из помещения. Это обстоятельство само по себе весьма важно, так как снижаются затраты на обработку приточного воздуха (особенно в холодный период года). Отметим, что частичная компенсация возможна и в активированных отсосах обоих указанных типов.

В самостоятельную группу целесообразно выделить и так называемые завесы в строительных, технологических и вентиляционных проемах (см., например, [1-3, 6]). Струя завесы формируется при истечении воздуха из щели, размещенной вдоль одной или нескольких кромок проема. Она выполняет роль экрана и создает дополнительное сопротивление проходу воздуха или газов через проем. Отличительной особенностью является то, что при работе воздушной завесы не ставится цель эжектировать струей вредные вещества.

## **1.2. Основные принципы организации воздушно-струйных укрытий**

Как отмечалось выше, одним из элементов воздушно-струйного укрытия (ВСУ) является струя воздуха, выполняющая роль экрана. Этот экран препятствует проникновению вредных веществ из «грязной» зоны в «чистую». В зависимости от конфигурации источника вредностей в состав ВСУ могут входить как плоские, так и кольцевые (конические) струи.

Плоская струя образуется при истечении воздуха из прямоугольного щелевого насадка с соотношением сторон не менее 1:30. Кольцевые струи создаются с помощью специальных сопел различной конструкции, замкнутых по периметру. Струи ВСУ могут быть свободными или ограниченными элементами конструкции сопла, технологического оборудования и ограждающими конструкциями здания. Примеры воздушно-струйных укрытий с плоскими и кольцевыми струями приведены в главе 5.

В отличие от свободных турбулентных струй, струи ВСУ развиваются в сложных условиях. С одной их стороны имеется обширное пространство цеха, с другой – ограниченное локализуемое пространство. Это обстоятельство коренным образом влияет на формирование струй. Физический смысл происходящих при этом процессов является общим как для плоских, так и для кольцевых струй. Не вдаваясь пока в подробности физической картины (об этом будет сказано в главе 2), отметим здесь ряд принципиально важных положений.

Наличие замкнутой зоны, заключенной между струей и стенками, вызывает различие в динамике потоков по обе стороны струи. Это, в свою очередь, приводит к деформации струйного потока с последующим растеканием его по одной из ограничивающих поверхностей или



к смыканию. Далее струя делится на два потока. Один из них – остаточный – развивается в направлении от приточного насадка. Второй – возвратный – поступает в локализуемое пространство, обеспечивая необходимый заданный характер течения.

Независимо от типа струи при конструировании ВСУ необходимо учитывать и использовать явление деформации активирующих (экранирующих) струй. Для этой цели используются естественные ограждения или специальные стенки, шторы, перегородки и другие подобные детали. При этом обязательно должно быть обеспечено создание между струей и ограждениями замкнутой зоны с размерами, необходимыми по технологическим условиям.

На основании изложенного, при расчете геометрии воздушно-струйного укрытия необходимо:

- определить положение и геометрические параметры приточного насадка;
- определить положение линии, условно разделяющей остаточный и возвратный потоки, и основные ее характеристики;
- определить ширину струи в поперечном сечении струи, совпадающем с плоскостью воздухоприемного отверстия отсоса.

В ряде случаев может потребоваться определение границ струи на всем ее протяжении и объема образующейся замкнутой зоны. При наличии неплотностей в ограждающих конструкциях геометрия струй должна быть рассчитана таким образом, чтобы в локализуемом пространстве создавалось разрежение.

Отсасывающее устройство ВСУ должно обеспечивать удаление подводимого к нему загрязненного воздуха за исключением той его части, которая возвращается назад в замкнутое пространство. Оптимальный объемный расход удаляемого воздуха при этом составит:

$$L_{отс} = 0,5(L_c + L_0) + L_{цз}, \quad (1.3)$$

где  $L_c$  – расход струи в поперечном сечении, лежащем в плоскости воздухоприемного отверстия отсоса;

$L_{цз}$  – расход воздуха или пылегазовых компонентов, поступающих в локализуемое пространство между струей и ограждающими поверхностями.

Размеры воздухоприемного отверстия назначают не менее размеров струи в месте ее улавливания. В противном случае расчетный расход воздуха увеличивается.

Расчет расходов удаляемого воздуха базируется на изложенных в главах 2, 3 закономерностях развития деформированных струй. К ним относятся: закон изменения скоростей на деформированной оси; закон распределения скорости в поперечном сечении; закон нарастания массы в зависимости от увеличения расстояния от приточного насадка по деформированной оси; закон раскрытия динамических границ деформированной струи.

Расчетной характеристикой для определения указанных расходов является значение начального импульса и связанной с ним начальной скорости струи.

Начальный импульс и соответствующий ему начальный расход активирующей струи должны обеспечивать надежную локализацию вредных веществ и взрывобезопасную концентрацию газов и пыли в системе, предотвращать поступление их через струю в атмосферу помещения. Кроме того, должна обязательно обеспечиваться устойчивость струи к внешним воздействиям.

Исходным положением для оценки эффективности работы ВСУ является степень улавливания струей вредных веществ и удаления их в отсос. Эту степень принято оценивать с помощью критерия эффективности:  $N^3 = M_y / M_b$ . Здесь  $M_y$  и  $M_b$  — массы вредных веществ, уловленных и выделившихся соответственно.

При работе укрытия величина критерия эффективности должна находиться в диапазоне от некоторого оптимального значения  $N_{\text{опт}}^3$  до  $N^3 = 1,0$ . В случае  $N^3 = 1,0$  воздушно-струйное укрытие улавливает вредные вещества и совместно с системой общеобменной вентиляции обеспечивает полное их удаление из помещения. Если  $N^3 = N_{\text{опт}}^3$ , то допускается содержание вредных веществ в рабочей зоне на уровне ПДК. В отличие от отсосов, рассмотренных, например, в [1-3, 5, 6, 8], наличие одного этого критерия является необходимым, но недостаточным условием, определяющим работу ВСУ.

Действительно, в случае ВСУ выделяющиеся вредные вещества вначале эжектируются струей (1-й этап) и затем транспортируются ею в отсос (2-й этап). Оценка эффективности на первом этапе по критерию эффективности является вполне достаточной. В то же время следует учесть, что на втором этапе струя подвергается воздействию целого ряда факторов: сносящие потоки воздуха в окружающем пространстве помещения, активные потоки вредных веществ в локализуемой зоне, гравитационные силы, действующие в системе «струя – замкнутое пространство» и т.д. Под их воздействием струя, содержащая вредные

вещества, может отклоняться от заданного расчетом направления, что приведёт к распространению вредных веществ по помещению. Следовательно, начальный импульс струи должен обеспечить не только высокую степень поглощения вредных выделений, но и устойчивость струйного потока по отношению к возмущающим воздействиям. В этом случае максимально полное попадание вредных веществ в отсос будет гарантировано.

Дополнительную подробную информацию о широко известных местных отсосах можно почерпнуть из работ В.Н. Посохина [7], А.Г. Сотникова и А.А. Боровицкого [9].

## **2. ОСНОВЫ РАСЧЕТА ВОЗДУШНО-СТРУЙНЫХ УКРЫТИЙ С ПЛОСКОЙ СТРУЕЙ**

### **2.1. Деформация плоской двухмерной струи вблизи непроницаемых поверхностей**

Как известно, струя любой вязкой жидкости обладает эжектирующей способностью. В пространстве, окружающем струю, возникают течения, направленные к ее границам. При свободной затопленной струе внешнее течение симметрично относительно ее оси. Если вблизи воздуховыпускной щели, формирующей плоскую струю, поместить непроницаемую стенку, то условия развития струйного потока усложнятся. Поясним это положение, рассмотрев последовательно несколько стадий двухмерного течения вблизи двух взаимно перпендикулярных плоских стенок. Двухмерная схема реализуется, когда область течения с боков ограничена сплошными стенками.

Первоначально струя начинает развиваться как свободная (рис. 2.1а). Это происходит до тех пор, пока зазор между внутренней границей струи и стенкой 1п не уменьшится настолько, что скорость внешнего (эжектируемого) потока в зазоре существенно возрастёт. И, как следствие, давление  $P$  вблизи внутренней границы струи существенно уменьшится относительно давления  $P_a$  в окружающем пространстве (в атмосфере). Возникший перепад давлений  $\Delta P = P_a - P$  вызовет отклонение струи в сторону стенки 1п (рис. 2.1б) и ускорит пересечение внутренней границы с плоскостью стенки 1п. Между непроницаемыми стенками и струей образуется замкнутая зона.

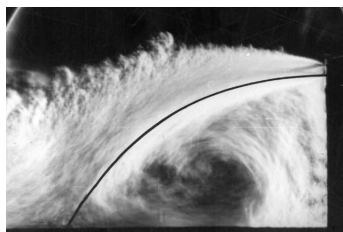
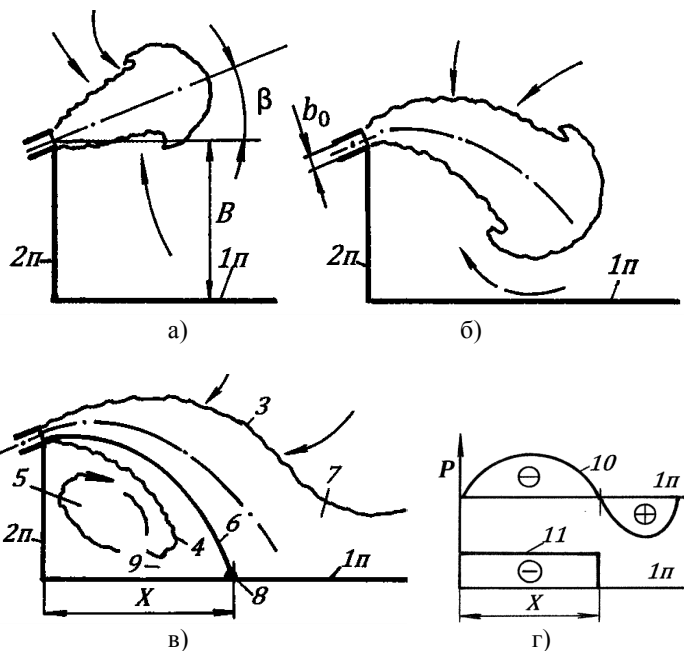
Продолжающаяся эжекция среды из этой зоны обуславливает дальнейшее усиление деформации струи. Теперь она будет набегать на поверхность 1п под углом, разделившись на два потока: остаточный и возвратный (рис. 2.1в). Возвратный поток питает струю со стороны замкнутого пространства, которое принято называть циркуляционной зоной. Таким образом, мы видим явление самоэжекции струи. Течение становится устойчивым, когда расход возвратного потока станет равным расходу среды, эжектируемой струей из циркуляционной зоны. Фото сформировавшегося течения показано на рис. 2.1д.

Исследованию двумерных деформированных плоских турбулентных струй посвящено большое количество работ отечественных и зарубежных ученых. В зависимости от решаемых задач в этих работах рассматривались следующие случаи:

- деформация струи, вытекающей из отверстия в одной из двух взаимно перпендикулярных стенок;
- деформация струи, вытекающей под углом к плоской стенке, примыкающей к воздуховыпускному отверстию;
- деформация струи, вытекающей в открытую с одной стороны камеру, стенки которой расположены под небольшим углом к направлению истечения;
- деформация струи, развивающейся вблизи непроницаемых стенок, расположенных под углом друг к другу.

Первое решение рассматриваемой задачи для частных случаев было выполнено С. Bourque, В. Newman, R. Sawyer [10-12] и оказалось весьма удачным, что подтверждено многочисленными экспериментами. Данное обстоятельство побудило многих последователей предпринять попытки перенести модель, предложенную в [10], на более общие случаи. Однако положительного результата достигнуть не удалось. Теоретические модели оказывались справедливыми и подтверждались экспериментально в очень ограниченных (всякий раз – разных) диапазонах изменения начальных параметров. Поэтому чаще всего предпочтение отдавалось эксперименту в конкретных условиях, характерных для той или иной практической задачи.

Анализ сложившейся ситуации объективно показывает, что при таком положении обращение к прямому эксперименту без общей теории деформации плоских струй чрезвычайно затруднительно и бесперспективно.



д)

а) начальный период; б) промежуточный период; в) сформировавшееся течение; г) эюры давлений; д) теневая фотография.

1п, 2п) Непроницаемые стенки. 3) Наружная граница струи. 4) Внутренняя граница струи. 5) Циркуляционная зона. 6) Линия раздела. 7) Остаточный поток. 8) Точка налипания. 9) Возвратный поток. 10) Эюра реального давления. 11) Эюра фоновое давления.

Особенно, когда задача рассматривается применительно к промышленной вентиляции.

Действительно, в вентиляционной технике диапазон изменения начальных параметров достаточно широк. Угол  $\beta$ , например, может принимать любые значения. Возможные соотношения  $B / b_0$  вынуждают исследовать случаи налипания струи на стенку не только в зоне действия основного, но и начального участка. Значительный интерес представляют различные варианты взаимного расположения двух и более стенок, подача или отсос среды со стороны циркуляционной зоны, развитие линейной системы компактных струй. Важными являются: оценка влияния формы воздуховыпускного насадка, учет условий неизотермичности и других факторов, сопутствующих протеканию сложных и многообразных вентиляционных процессов.

## **2.2. Вывод основных уравнений расчета параметров деформированных двухмерных плоских струй**

Первоначально решается задача о деформации плоской турбулентной изотермической струи, образованной истечением воздуха из щелевого сопла, примыкающего к одной из двух взаимно перпендикулярных плоских непроницаемых стенок (см. рис. 2.1, 2.2). Сразу же отметим, что принятая схема решения и основные предпосылки распространяются (как будет показано далее) и на следующие случаи: развитие плоской струи над двухмерным коловцем произвольной формы с одной бесконечной стенкой; течение вблизи проницаемых стенок при наличии произвольного отсоса или наддува; деформация потока, образованного линейной системой компактных струй; влияние слабой неизотермичности на параметры системы «струя – циркуляционная зона».

Рассмотрим исследуемое течение между контрольными поверхностями 1 и 2, располагающимися на малом удалении от соответствующих стенок 1п и 2п, и подвижной контрольной поверхностью 3, помещенной на расстоянии  $x$  от начала координат (рис. 2.2).

Изучая характер потоков, образующихся при деформации струи, и сопоставляя его с реальной картиной распределения давления на ограждающих стенках, можно представить себе процесс формирования поля давления в циркуляционной зоне следующим образом.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)