

На правах рукописи

КАЛМЫКОВ СЕРГЕЙ ПЕТРОВИЧ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО – И
МАССОПЕРЕНОСА ПРИ РАБОТЕ СИСТЕМЫ СТРУЙНОЙ
ВЕНТИЛЯЦИИ АВТОСТОЯНОК ЗАКРЫТОГО ТИПА**

Специальность: 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность»
(Технические науки. Отрасль строительство)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва-2008

Работа выполнена на УНК ППБС Академии Государственной противопожарной службы МЧС России.

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор
Есин Владимир Михайлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор
Поляков Юрий Афанасьевич

кандидат технических наук
Карпов Алексей Васильевич

Ведущая организация: Институт инженерной безопасности в
строительстве Московского государственного
строительного университета

Защита состоится « 20 » июня 2008 г. в ____ часов на заседании диссертационного совета Д 205.002.02 в Академии ГПС МЧС России по адресу: 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России.

Автореферат разослан «__» мая 2008 г., исх. № 6/34.

Отзыв на автореферат с заверенной подписью и печатью просим направлять в Академию ГПС МЧС России по указанному адресу.

Телефон для справок (495) 683 – 19 – 05.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор

С.В. Пузач

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы:

Автостоянки закрытого типа (подземные автостоянки, а также надземные автостоянки закрытого типа) в настоящее время становятся неотъемлемой составной частью инфраструктуры крупных городов России. Нормативными документами, действующими в Российской Федерации, требуется устройство систем дымоудаления при пожаре из объема автостоянки.

Зона действия воздухоприемных и дымоприемных отверстий в воздуховодах ограничена, что заставляет предусматривать в проектах систем вентиляции и дымоудаления развитую в пределах этажа автостоянки сеть воздуховодов большого сечения. Наличие воздуховодов заставляет увеличивать высоту помещений автостоянки, что приводит к удорожанию строительства. Факторами, также вызывающими удорожание строительства, являются мероприятия, обеспечивающие нераспространение пожара и продуктов горения из помещения автостоянки в другие помещения по системам воздуховодов общеобменной и противодымной вентиляции (установка огнезадерживающих клапанов и обеспечение нормативных пределов огнестойкости). Одним из возможных выходов из сложившейся ситуации является использование струйных вентиляторов.

Сегодня в России применение струйных вентиляторов сдерживается рядом причин методологического и нормативного характера. К причинам нормативного характера следует отнести принятые в нашей стране методы обеспечения незадымляемости помещений. Для противодымной защиты автостоянок принят метод, при котором система дымоудаления при пожаре из автостоянки должна обеспечить незадымленную зону заданной высоты в нижней части помещения. Система вентиляции и дымоудаления с использованием струйных вентиляторов обеспечивает незадымленную зону вне треугольника, в вершине острого угла которого расположен горящий автомобиль. Вторая причина связана с сертификацией оборудования, применяемого в системах противодымной защиты. В соответствии с принятыми в Российской Федерации методами сертификационных испытаний вентиляторов, используемых в системах дымоудаления, критерием пригодности вентилятора является сохранение работоспособности в условиях

воздействия высоких температур (400 или 600 °С) в течение заданного промежутка времени. Для струйных вентиляторов этот критерий не является актуальным, поскольку выход из строя в результате огневого воздействия одного или нескольких вентиляторов не приводит к невозможности исполнения системой своих функций.

Актуальность работы обуславливается следующими факторами:

- отсутствием нормативной базы (в том числе и противопожарной) по проектированию, монтажу и эксплуатации систем струйной вентиляции и дымоудаления в автостоянках закрытого типа;
- отсутствием в России каких – либо теоретических и экспериментальных исследований работы системы струйной вентиляции автостоянок закрытого типа.

Цели работы:

- Теоретическое исследование работы системы струйной вентиляции для автостоянок закрытого типа;
- Проведение оптимизации параметров работы системы струйной вентиляции.
- Разработка рекомендаций по использованию струйных вентиляторов для целей противодымной защиты подземных автостоянок.

Указанные цели предполагают следующие **задачи исследования:**

1. Разработать математическую модель для описания процессов тепло-массопереноса при работе системы струйной вентиляции в помещении закрытой автостоянки с учетом очага горения.
2. Провести апробацию данной математической модели
3. Провести расчеты тепло- и массопереноса при работе системы струйной вентиляции в помещении закрытой автостоянки при пожаре.
4. На основании полученных результатов оценить эффективность функционирования системы струйной вентиляции.
5. Определить основные параметры оптимальной работы системы струйной вентиляции.

Научная новизна диссертационной работы состоит в том, что:

- произведено теоретическое исследование работы системы струйной вентиляции автостоянки закрытого типа с учетом очага горения;
- обоснованы характеристики, обеспечивающие эффективную работу системы струйной вентиляции автостоянок закрытого типа;
- выявлены преимущества системы струйной вентиляции перед системой вентиляции и дымоудаления с использованием воздуховодов (уменьшение высоты помещения автостоянки вследствие отсутствия воздуховодов; частичная защита строительных конструкций (перекрытий) за счет создания в подпотолочной зоне воздушного потока; возможность частичного дымоудаления из помещения автостоянки; более равномерное удаление продуктов горения вследствие отсутствия застойных зон).

Достоверность полученных результатов подтверждается применением апробированного на решении задач подобного класса программного комплекса «SOFIE»; удовлетворительным согласованием результатов моделирования с результатами натурных и численных экспериментов других авторов.

Объект исследования: струйные вентиляторы.

Предметом исследования является работа системы струйной вентиляции помещения автостоянки закрытого типа.

Практическая значимость заключается в том, что полученные результаты, характеризующие работу системы струйной вентиляции, могут быть использованы при проектировании таких систем в автостоянках закрытого типа.

Практическая реализация: результаты работы используются при разработке проекта системы противодымной защиты подземной автостоянки комплекса Россия Московского Международного Центра «Москва – Сити» и в учебном процессе в Академии ГПС МЧС России.

Апробация и реализация результатов работы:

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на:

- международной конференции – рабочей встрече экспертов России и НАТО «Стойкость городских сооружений к комбинированным опасным воздейст-

- виям: уроки 11 сентября и научные задачи на будущее». - Москва, 2007 г;
- XII Европейском АВОК – ЕНІ симпозиуме «Современное энергоэффективное оборудование для теплоснабжения и климатизации зданий». - Москва, 2008 г;
 - Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности». – Москва, 2008 г.

Положения, выносимые на защиту:

- разработанная и апробированная на основании сравнения с экспериментальными данными математическая модель для описания работы струйной вентиляции автостоянки закрытого типа;
- результаты численного моделирования работы струйной вентиляции в помещении автостоянки закрытого типа;
- научно – обоснованные требования, предъявляемые к эксплуатационным параметрам струйных вентиляторов и целесообразности их размещения в помещениях автостоянок закрытого типа.

Публикации, структура и объем работы. По теме диссертации опубликовано 5 научных работ. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 133 страницах машинописного текста, включая 39 иллюстраций. Список литературы содержит 132 наименование.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследований, изложены научная новизна, практическая ценность полученных результатов работы, а также положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе отображено современное состояние противодымной защиты зданий и объектов различного назначения, и в частности противодымной защиты автостоянок закрытого типа. Рассмотрены различные принципы и способы противодымной защиты и, в частности, с использованием струйных вентиляторов. Сделан вывод о том, что в России отсутствует не только норматив-

ная база, но и какие-либо исследования в отношении струйной вентиляции автостоянок закрытого типа. На основании данного вывода сформулированы цели диссертационной работы.

Во второй главе диссертации рассматриваются физические и математические модели, используемые при численном моделировании пожаров.

В третьей главе для того, чтобы оптимальным образом сформулировать математическую модель применительно к решаемой задаче и убедиться, что она адекватно описывает рассматриваемые процессы и явления, была проведена серия расчетов по апробации модели на основе сравнения с экспериментальными данными компаний «NOVENCO» и «TNO», а также аналитическими и численными расчетами других авторов.

Математическая модель, разработанная научными сотрудниками Национального института гражданских инженеров (Лиссабон, Португалия) и используемая для сравнения с моделью предложенной в работе, включала в себя уравнение неразрывности, три уравнения сохранения количества движения вдоль каждой из декартовых координат, уравнение сохранения энтальпии, а также два уравнения для кинетической энергии турбулентности и скорости диссипации энергии.

Данные уравнения можно записать в виде обобщенного уравнения переноса при решении задачи в декартовых координатах:

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\rho} u_j \tilde{\phi}) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma_{\phi ef} \frac{\partial \tilde{\phi}}{\partial x_j} \right] + S_{\phi}. \quad (1)$$

Реализация процессов турбулентного переноса осуществлялась с помощью стандартной $k - \varepsilon$ модели турбулентности, учитывающей эффекты плавучести. Плотность газа вычислялась из уравнения состояния идеального газа. Давление определялось с использованием уравнения для поправок давления согласно итерационной схеме SIMPLER.

Для реализации математической модели использовался программный комплекс FDS (Fire Dynamics Simulator).

Консервативные величины Φ , коэффициенты переноса Γ_{Φ} и источник-

вые члены S_Φ , соответствующие каждому уравнению, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры и коэффициенты основной системы уравнений

Φ	Γ_Φ	S_Φ
1	0	0
\tilde{u}_i	$\mu + \mu_t$	$-\frac{\partial P}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial k}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left((\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial \bar{u}_k}{\partial x_k} \right) \right) - \rho g_i$
\tilde{h}	$\frac{\mu}{\sigma_h} + \frac{\mu_t}{\sigma_{ht}}$	0
k	$\frac{\mu}{\sigma_k} + \frac{\mu_t}{\sigma_{kt}}$	$\mu_t \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \left(\frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} + \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) + \frac{C_\mu}{\sigma_{kt}} \frac{k^2}{\varepsilon} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} g \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} - \bar{\rho} \varepsilon$
ε	$\frac{\mu}{\sigma_\varepsilon} + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}$	$C_1 \frac{\varepsilon}{k} \left[\mu_t \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \left(\frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} + \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) + \frac{C_\mu}{\sigma_{kt}} \frac{k^2}{\varepsilon} g \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} \right] (1 + C_3 R_f) - C_2 \bar{\rho} \frac{\varepsilon^2}{k}$

Модельные константы

C_1	C_2	C_3	C_μ	σ_{ht}	σ_{kt}	σ_ε
1.44	1.92	0.8	0.09	0.7	1.0	1.3

Помещение закрытой автостоянки моделировалось с размерами 35x20x2,3 м. Размеры струйного вентилятора принимались 0,3x0,3 м. Тяга струйного вентилятора равнялась 50 Н, что соответствует скорости струи воздуха на выбросном патрубке вентилятора 21,5 м/с при нормальных условиях.

Аналитические расчеты значений скорости производились по формуле для затопленных турбулентных осесимметричных струй:

$$u^2 = U_\infty^2 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \left(\frac{k_{0i} D_i U_{0i}}{x - x_i} \right)^2 e^{-\frac{r_i^2}{k_i^2 (x - x_i)^2}}, \quad (2)$$

где U_{0i} - скорость при выходе из насадка, м/с;

U_∞ - средняя скорость потока, м/с;

D_i - диаметр насадка, м;

x - координата по оси, м;

r_i - радиальная координата, м;

x_i - координата начала отсчета струи, м;

α_i, k_{0i}, k_i - модельные константы.

Численные и аналитические расчеты произведены научными сотрудниками Национального института гражданских инженеров (Лиссабон, Португалия).

Данные экспериментов в помещении автостоянки закрытого типа были взяты из работы сотрудников компаний «NOVENCO» и «TNO». Эксперимент проводился в подземной автостоянке в г. Хертогенбош, Нидерланды.

Математическая модель, предложенная в этой работе, аналогична модели, разработанной научными сотрудниками Национального института гражданских инженеров (Лиссабон, Португалия), однако моделирование производилось в трехмерной нестационарной постановке в декартовой системе координат. Обобщенное уравнение переноса имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \phi) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + S_\phi \quad (3)$$

Консервативные величины Φ , коэффициенты переноса Γ_ϕ и источниковые члены S_ϕ , соответствующие каждому уравнению, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры и коэффициенты основной системы уравнений

Φ	Γ_ϕ	S_ϕ
1	0	0
u_i	$\mu + \mu_t$	$\rho g_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left((\mu + \mu_t) \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$
h	$\frac{\mu + \mu_t}{Pr}$	0
k	$\frac{\mu + \mu_t}{\sigma_k}$	$G_k + G_B - \rho \varepsilon$
ε	$\frac{\mu + \mu_t}{\sigma_\varepsilon}$	$(C_1 \varepsilon (G_k + G_B) - C_2 \rho \varepsilon^2) / k$

где $\mu_t = \rho C_\mu k^2 / \varepsilon$,

$$G_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}, \quad G_B = -\beta g_i \frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{\partial T}{\partial x_i}, \quad \beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p,$$

$$C_{\mu} = 0,09; C_1 = 1,44; C_2 = 1,92; \sigma_k = 1,0; \sigma_{\varepsilon} = 1,3; \sigma_t = 1,3, Pr = Sc_{fu} = Sc_f = 0,7$$

Реализация процессов турбулентного переноса осуществлялась с помощью стандартной $k - \varepsilon$ модели турбулентности, учитывающей эффекты плавучести. Плотность газа вычислялась из уравнения состояния идеального газа. Давление определялось с использованием уравнения для поправок давления согласно итерационной схеме SIMPLEC.

Для реализации математической модели на ЭВМ использован программный комплекс SOFIE, специально разработанный для моделирования пожаров международным консорциумом научных и исследовательских организаций.

Сравнение результатов проводилось для двух случаев. В первом случае рассматривалась работа системы струйной вентиляции на примере отдельно стоящего струйного вентилятора (рис. 1). Во втором случае рассматривалась работа системы струйной вентиляции на примере двух параллельно расположенных струйных вентиляторов (рис. 2).

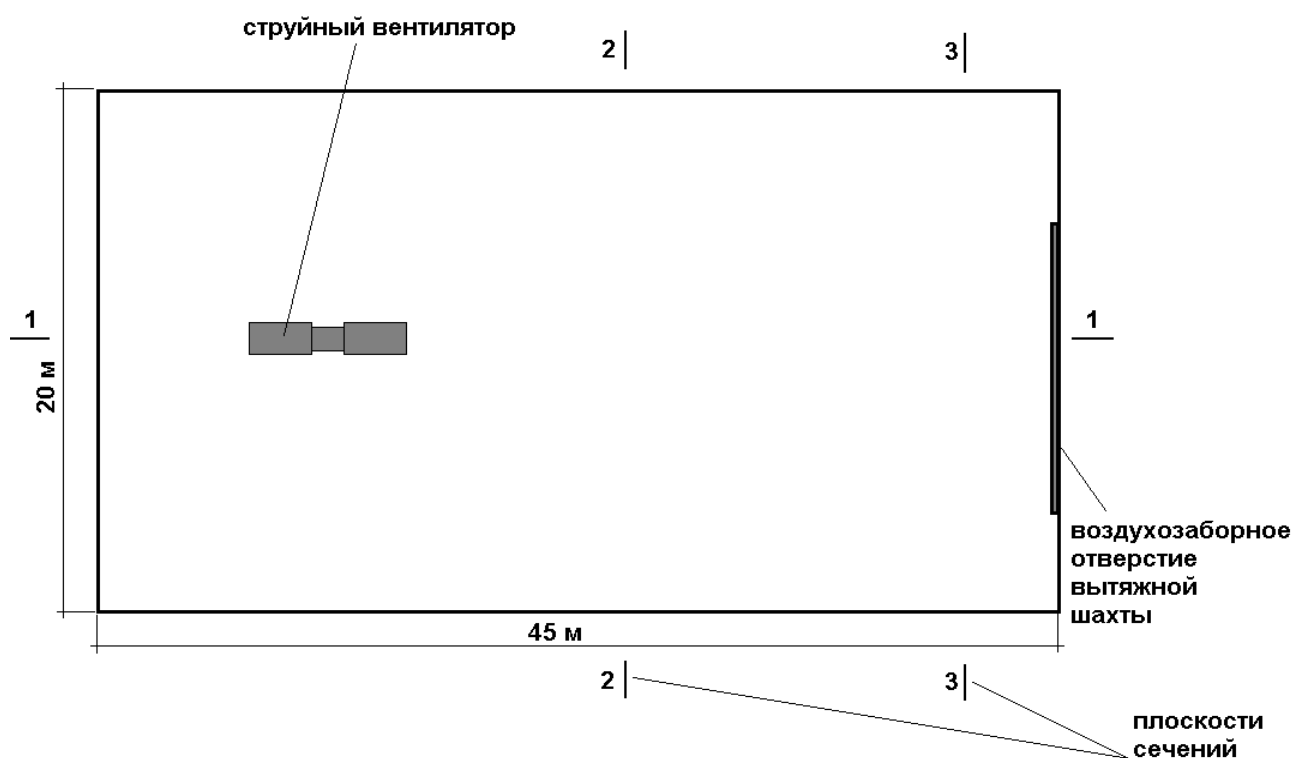


Рис. 1. Схема моделируемого помещения (случай 1)

В первом случае помещение закрытой автостоянки моделировалось с размерами 45x20x3 м. Во втором случае – 45x40x3м. Размеры струйного вентилятора принимались 0,3x0,3 м. Скорость на выбросных патрубках вентиляторов

принималась постоянной и равной 20 м/с. Расстояние между параллельно расположенными струйными вентиляторами во втором случае составляло 10 м.

В обоих случаях решалась нестационарная задача. Значения скоростей, полученных в этой работе, приведены для момента времени 300 секунд от начала моделируемого процесса.

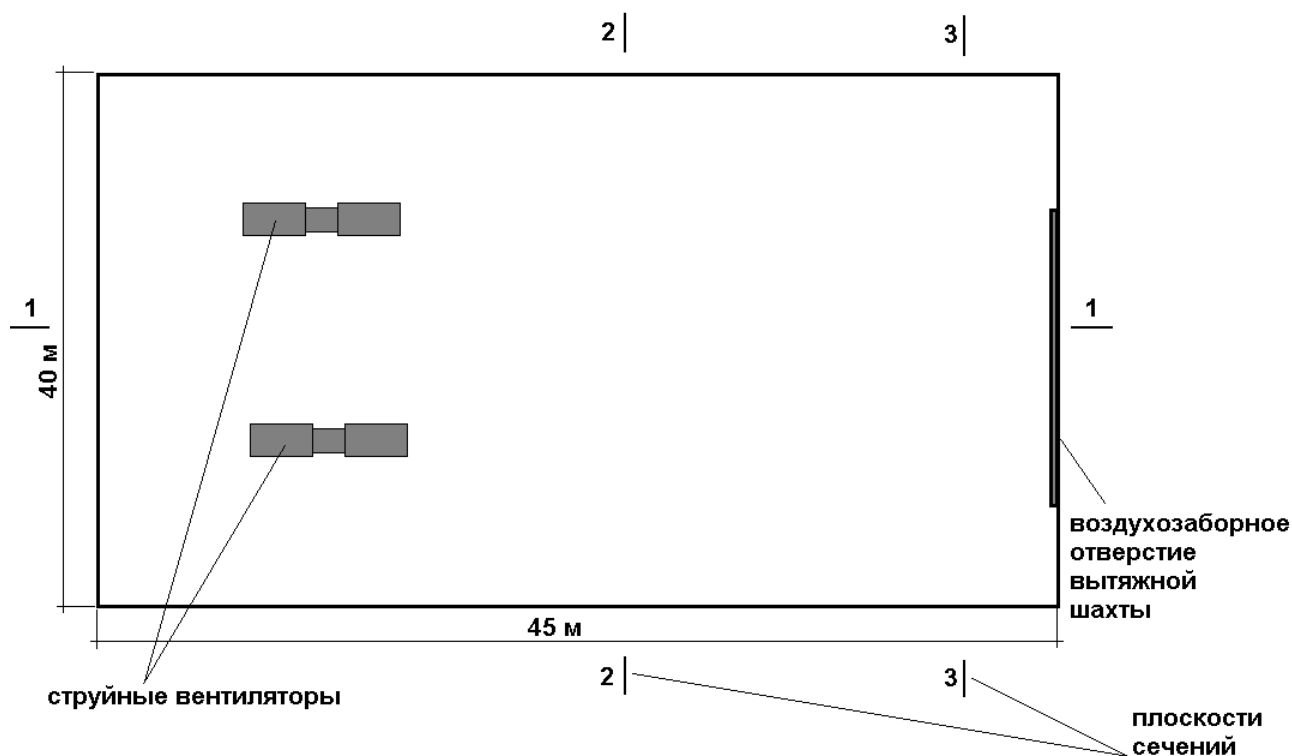


Рис. 2. Схема моделируемого помещения (случай 2)

На рис. 3 и 4 показаны профили скорости воздушного потока в вертикальной плоскости оси вентиляторов (сечение 1-1) на расстоянии 8 и 16 м от выбросного патрубка вентилятора соответственно для первого случая. Расстояние по вертикали принято от пола моделируемого помещения.

Профиль с обозначением “result” соответствует профилю скорости, полученному в этой работе, с обозначением “sim” – численному решению других авторов, “an” – аналитическому решению, “test” – показаниям в эксперименте. Эти же обозначения используются и на последующих рисунках.

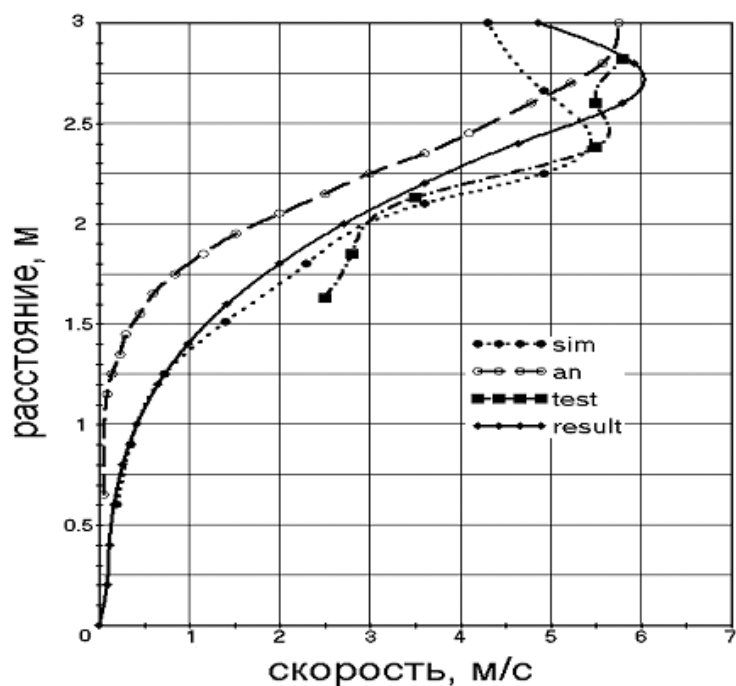


Рис. 3. Профили скорости воздушного потока в вертикальной плоскости на расстоянии 8 м от выбросного патрубка вентилятора

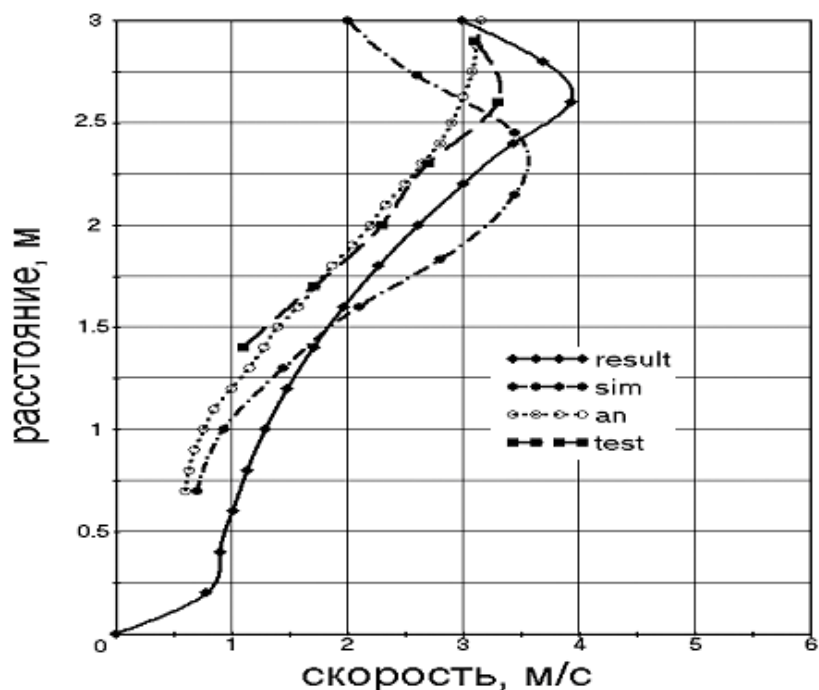


Рис. 4. Профили скорости воздушного потока в вертикальной плоскости на расстоянии 16 м от выбросного патрубка вентилятора

На рис. 5 и 6 показаны профили скорости воздушного потока для горизонтальной плоскости, отстоящей от уровня потолка на 0,4 м, на расстоянии 8 (сечение 2-2) и 16 м (сечение 3-3) от выбросного патрубка вентилятора соответственно для первого случая.

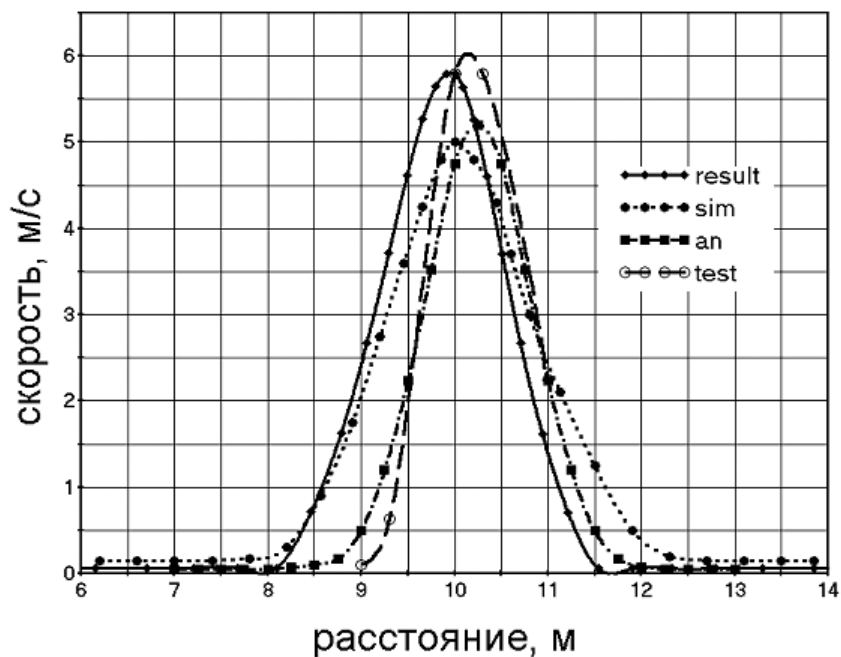


Рис. 5. Профили скорости воздушного потока в горизонтальной плоскости на расстоянии 8 м от выбросного патрубка вентилятора

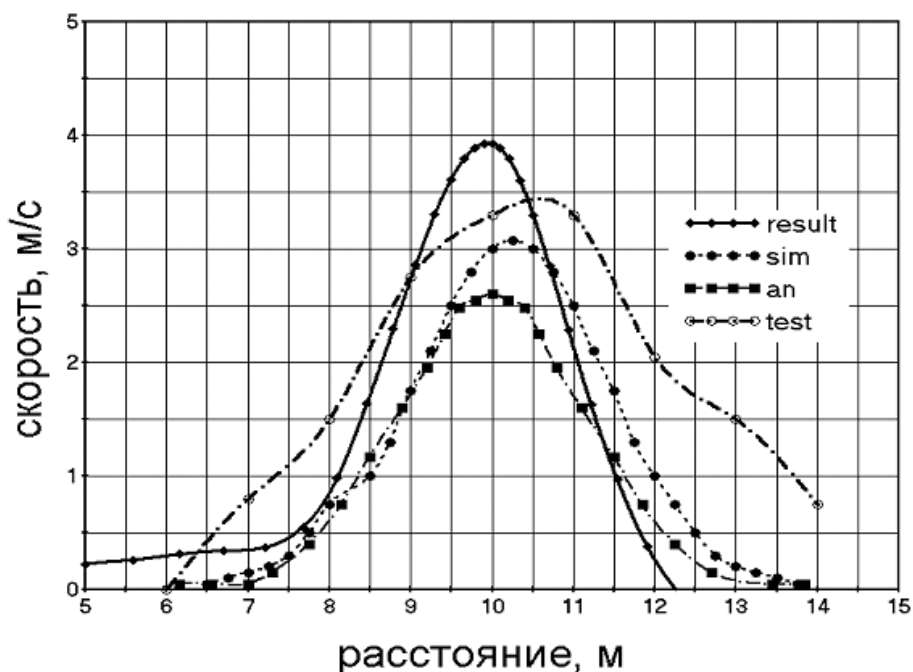


Рис. 6. Профили скорости воздушного потока в горизонтальной плоскости на расстоянии 16 м от выбросного патрубка вентилятора

На рис. 7 и 8 показаны профили скорости воздушного потока для горизонтальной плоскости, отстоящей от уровня потолка на 0,4 м, на расстоянии 8 (сечение 2-2) и 16 м (сечение 3-3) от выбросного патрубка вентилятора соответственно для второго случая. На нижеследующих рисунках рассматривается работа системы струйной вентиляции на примере двух параллельно расположенных

струйных вентиляторов.

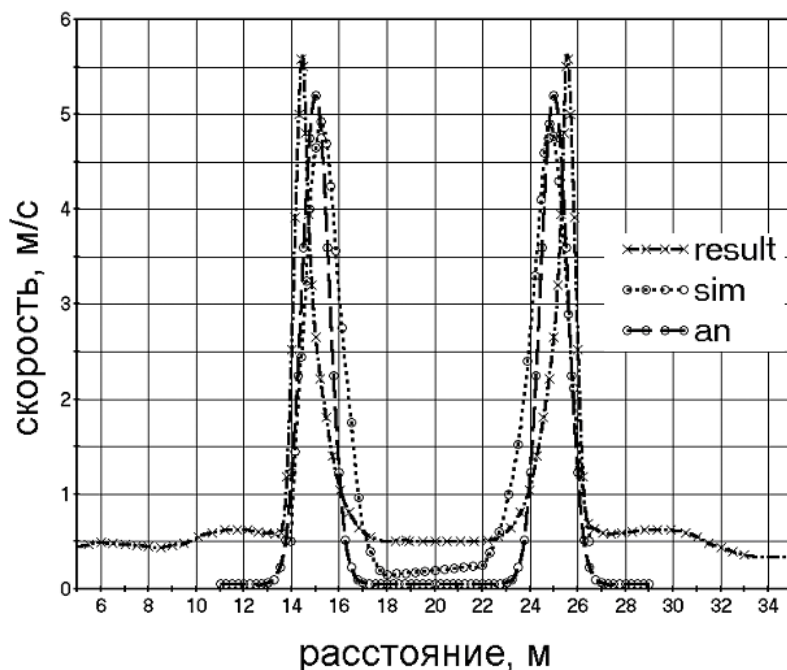


Рис. 7. Профили скорости воздушного потока в горизонтальной плоскости на расстоянии 8 м от выбросного патрубка вентилятора

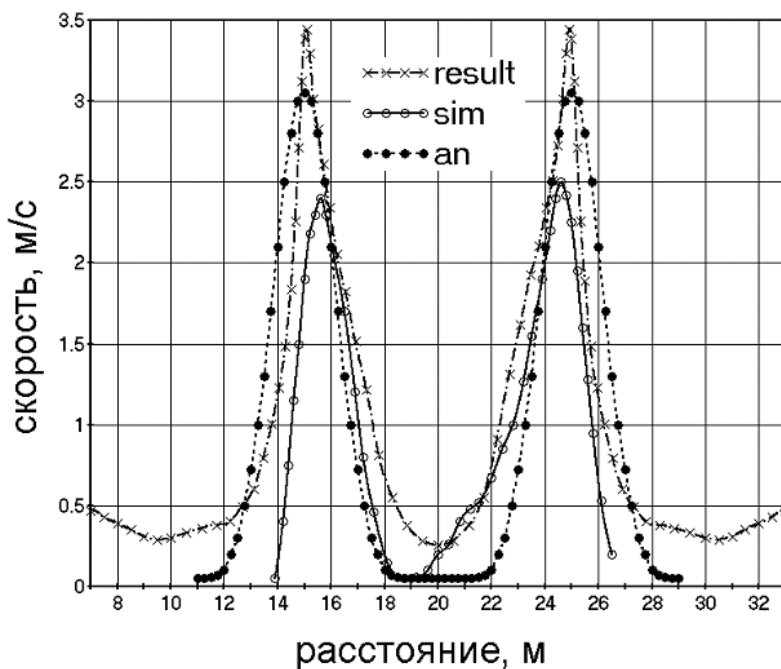


Рис. 8. Профили скорости воздушного потока в горизонтальной плоскости на расстоянии 16 м от выбросного патрубка вентилятора

На основании проведенного сравнения результатов моделирования с экспериментальными данными, а также с численными и аналитическими данными, полученными другими авторами можно сделать вывод о том, что данная математическая модель пригодна для решения поставленной в работе задачи исследова-

дования процессов тепло – и массопереноса при работе системы струйной вентиляции автостоянок закрытого типа.

Средние расхождения между расчетными максимальными значениями скорости и другими данными составляют:

- численными данными, полученными в Национальном институте гражданских инженеров (Нидерланды) – 15,6 %;
- аналитическими – 13,3 %;
- экспериментальными – 10,7 %.

В целом полученные данные согласуются с результатами других работ. Картина работы системы струйной вентиляции полученная на основе математического моделирования соответствует реальной картине.

В ходе выполнения работы моделировалась работа системы струйной вентиляции с учетом очага пожара. Для этого было проведено две серии численных экспериментов. В первой серии экспериментов проводились расчеты скоростных, температурных и концентрационных полей в зоне действия струйного вентилятора в сравнении с системой дымоудаления с воздуховодами. Во второй серии были проведены расчеты скоростных полей для выявления основных параметров, обеспечивающих эффективную работу системы дымоудаления и вентиляции автостоянки закрытого типа.

Используемая математическая модель аналогична модели, предложенной в этой работе выше, однако, для учета очага горения в неё были добавлены уравнения сохранения концентрации паров топлива и функции смешения.

Для решения задач использовалась трехмерная декартова система координат. Поля скоростей и других переменных определялись на совмещенных сетках. Реализация процессов турбулентного переноса осуществлялась с помощью $k - \varepsilon$ модели турбулентности, учитывающей эффекты плавучести, а при реализации процессов горения применялась диффузионно-вихревая модель Магнуссена-Хавьертагера. Для оценки образования сажи и её распространения в объеме помещения использована модель Теснера. При определении поправок давления и скоростей использована итерационная схема Патанкара и Сполдинга.

Все уравнения решались с помощью построчного ТДМА.

Рассмотрим каждую серию численных экспериментов в отдельности.

При расчете скоростных, температурных и концентрационных полей в зоне действия струйного вентилятора использовалась трехмерная декартова система координат. Поля переменных определялись на совмещенной сетке. Площадь моделируемого помещения составляла 335 м². Общее количество контрольных объемов 30150 (67x15x30). Размеры струйного вентилятора принимались 2,0x0,4x0,4 м. Скорость потока воздуха, выходящего из выбросного патрубка струйного вентилятора, составляла 20 м/с. В модели предусматривалось наличие отверстий вытяжной и приточной шахт. Очаг горения представляет собой прямоугольную горелку с размерами 1,0 x 2,0 м. В качестве горючего использовалось комплексная горючая нагрузка, приведенная для автомобиля (резина, бензин, ППУ, искожа ПВХ и эмаль). Мощность тепловыделения была постоянной и равнялась 1477 кВт. Предполагалось, что в начальный момент времени расчетная область заполнена неподвижной газовой смесью (воздухом) с температурой 278,6 К. Расчеты проводились с временным шагом 0,1 с и сходимостью по разности масс до $1 \cdot 10^{-3}$.

На рис. 9 показана схема моделируемого помещения автостоянки закрытого типа оснащенного струйным вентилятором.

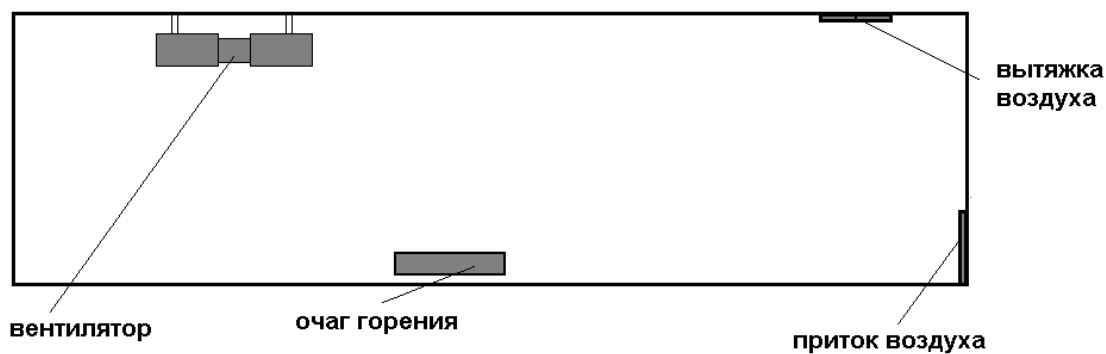


Рис. 9. Схема моделируемого помещения

При проведении численных расчетов тепло – и массопереноса в помещении автостоянки, оснащенной системой дымоудаления с воздуховодами использовалась подобная схема без струйного вентилятора.

По результатам расчетов сделан вывод о том, что система дымоудаления с

использованием струйных вентиляторов обеспечивает более равномерное удаление продуктов горения (отсутствуют застойные зоны) по сравнению с системой дымоудаления с воздуховодами, а также частично защищает строительные конструкции (перекрытия) от огневого воздействия за счет воздушного потока в подпотолочной зоне.

Во второй серии теоретических исследований были проведены десять численных экспериментов. В 1 – 3 расчетах моделировалась работа системы струйной вентиляции, на примере двух последовательно расположенных струйных вентиляторов в помещении (автостоянке). Расстояние между вентиляторами принималось равным 20 м. При этом варьировалась скорость потока воздуха, выходящего из выбросных патрубков вентиляторов.

Площадь моделируемого помещения составляла 900 м². Общее количество контрольных объемов 67500 (90x15x50). Размеры струйного вентилятора принимались 3,0x0,4x0,4 м. Скорость потока воздуха, выходящего из выбросного патрубка струйного вентилятора, составляла 20 м/с – 1-й расчет, 10 м/с – 2-й расчет, 5 м/с – 3-й. Очаг горения представляет собой прямоугольную горелку с размерами 1,88 x 3,0 м. В качестве горючего использовалось комплексная горючая нагрузка, приведенная для автомобиля (резина, бензин, ППУ, искожа ПВХ и эмаль). Мощность тепловыделения была постоянной и равнялась 4165 кВт. Предполагалось, что в начальный момент времени расчетная область заполнена неподвижной газовой смесью (воздухом) с температурой 278,6 К. Расчеты проводились с временным шагом 0,1 с и сходимостью по разности масс 0,1 %.

На рис. 10 и 11 показаны профили скорости воздушного потока (в вертикальной плоскости оси вентиляторов) на расстоянии 8 и 16 м от выбросного патрубка первого вентилятора соответственно.

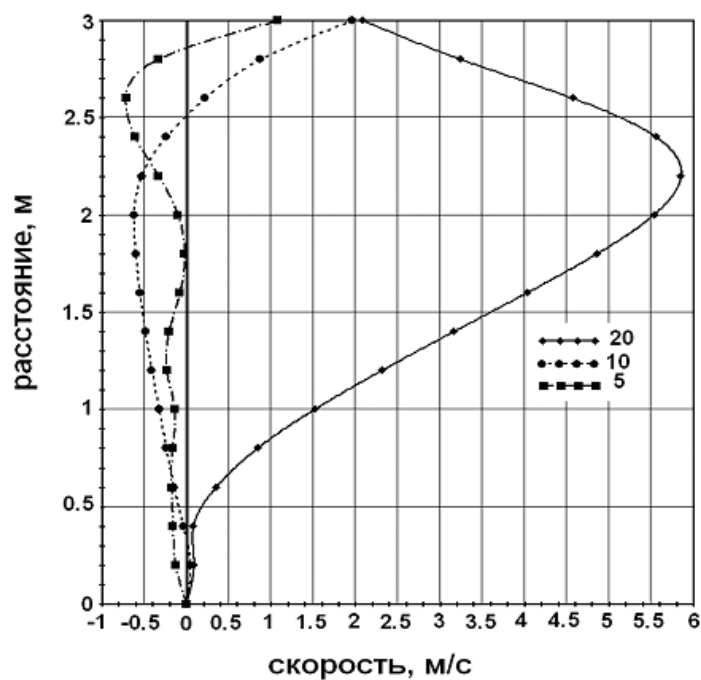


Рис. 10. Профили скорости воздушного потока в вертикальной плоскости на расстоянии 8 м от выбросного патрубка вентилятора

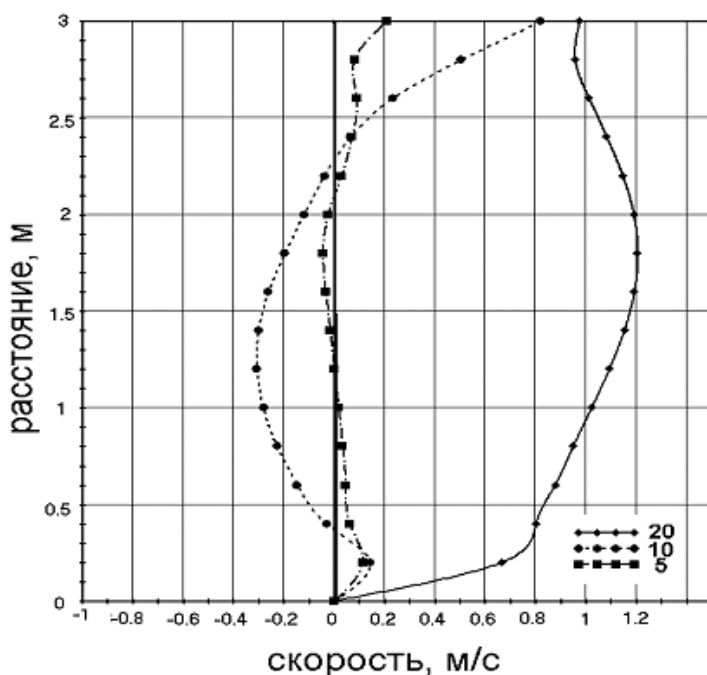


Рис. 11. Профили скорости воздушного потока в вертикальной плоскости на расстоянии 16 м от выбросного патрубка вентилятора

Скорость воздушного потока, выходящего из выбросного патрубка струйного вентилятора, варьировалась от 5 до 20 м/с.

Как видно из вышеприведенных профилей скорости, лучшие результаты получаются при скорости потока воздуха равной 20 м/с. Отрицательные значения скорости свидетельствуют о циркуляции воздуха (дыма) внутри помеще-

ния.

На рис. 12 и 13 показаны профили скорости воздушного потока для горизонтальной плоскости, отстоящей от уровня пола на 2,6 м, и на расстоянии 8 и 16 м от выбросного патрубка первого вентилятора соответственно.

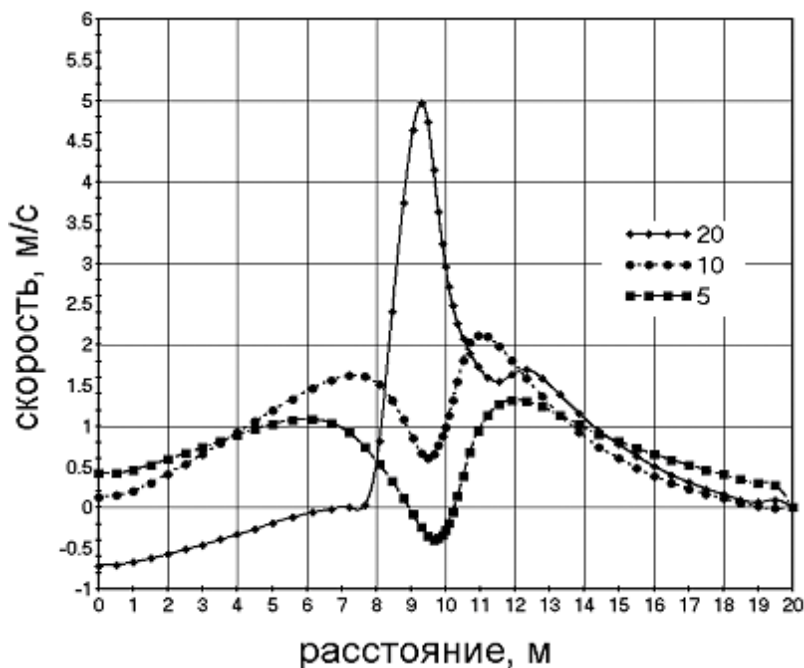


Рис. 12. Профили скорости воздушного потока в горизонтальной плоскости на расстоянии 8 м от выбросного патрубка вентилятора

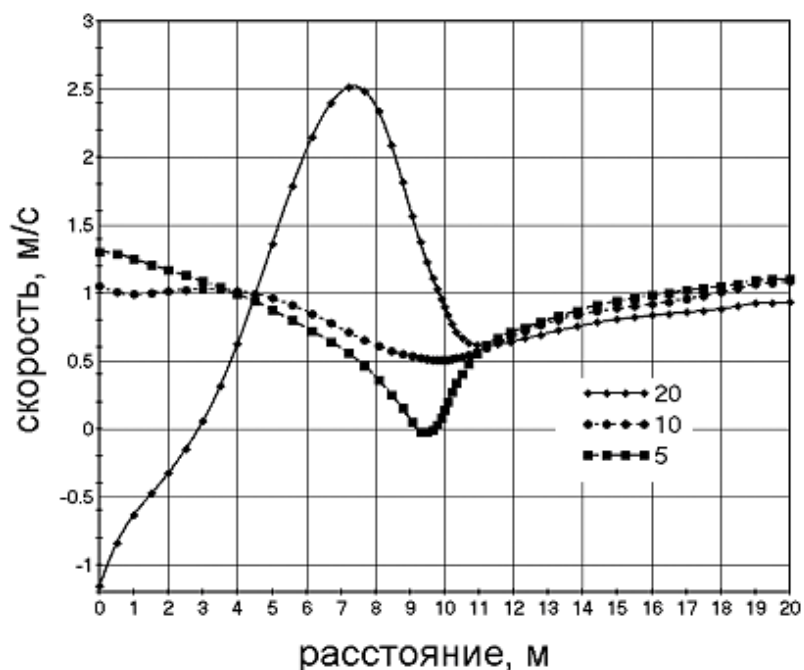


Рис. 13. Профили скорости воздушного потока в горизонтальной плоскости на расстоянии 16 м от выбросного патрубка вентилятора

Профили скоростей не являются симметричными относительно оси вала вентилятора. Это объясняется тем, что в рассматриваемых задачах моделирует-

ся очаг горения, центр которого находится в плоскости оси вентиляторов, а также наличием отверстий в помещении для притока и вытяжки воздуха.

При скоростях воздушных струй 5 и 10 м/с ограничение распространения дыма происходит не в должной степени: при скорости струи 5 м/с над очагом горения наблюдаются отрицательные значения скоростей общего потока, что свидетельствует о распространении продуктов горения в направлении, противоположном направлению струй.

В 4-х – 7-х расчетах моделировалась работа системы струйной вентиляции на примере двух последовательно расположенных струйных вентиляторов в помещении автостоянки. Расстояние между вентиляторами варьировалось от 10 м до 40 м: 10 м в четвертом расчете, 20 м - в пятом, 30 м - в шестом и 40 м - в седьмом. Скорость на выбросных патрубках вентиляторов принималась постоянной равной 20 м/с.

На рис. 14 показаны профили скорости воздушного потока в горизонтальной плоскости оси вентиляторов на участке от выбросного патрубка первого вентилятора до входного патрубка второго вентилятора на расстоянии 2,6 м от уровня пола помещения. Профили скоростей приведены для момента времени 300 с от начала моделируемого процесса.

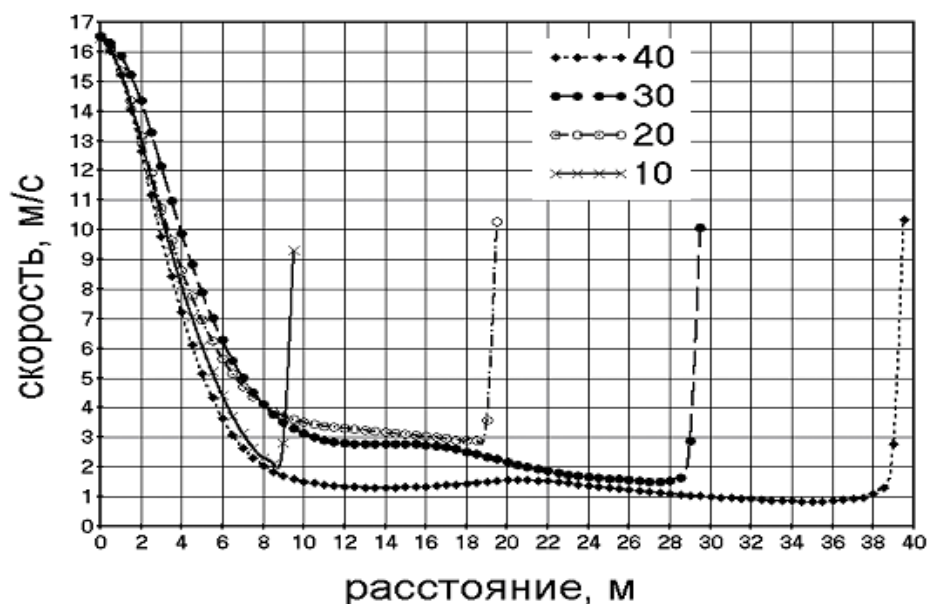


Рис. 14. Профили скорости воздушного потока в горизонтальной плоскости на участке от выбросного патрубка первого вентилятора до входного патрубка второго вентилятора

В помещении шириной 20 м скорость воздушного потока должна быть не

менее 1,4 м/с. Из рис. 14 видно, что скорость струи, выходящей из первого струйного вентилятора меньше 1,4 м/с наблюдается на профиле скорости струи, когда расстояние между последовательно расположенными вентиляторами составляет 40 м.

Из этого можно сделать вывод о том, что расстояние между последовательно расположенными вентиляторами должно составлять при данных условиях не более 30 м.

В следующих трёх расчетах моделировалась работа системы струйной вентиляции, на примере четырёх струйных вентиляторов в помещении автостоянки. Расположение струйных вентиляторов предполагалось в два ряда, в каждом ряду по два вентилятора. Расстояние между последовательно расположенными вентиляторами принималось равным 20 м. При этом варьировалось расстояние между параллельно расположенными вентиляторами: 10 м – в восьмом расчете, 20 м – в девятом и 30 м - в десятом.

На рис. 15 и 16 показаны профили скорости воздушного потока для горизонтальной плоскости, отстоящей от уровня пола на 2,6 м, на расстоянии 8 и 16 м от выбросного патрубка первого вентилятора соответственно.

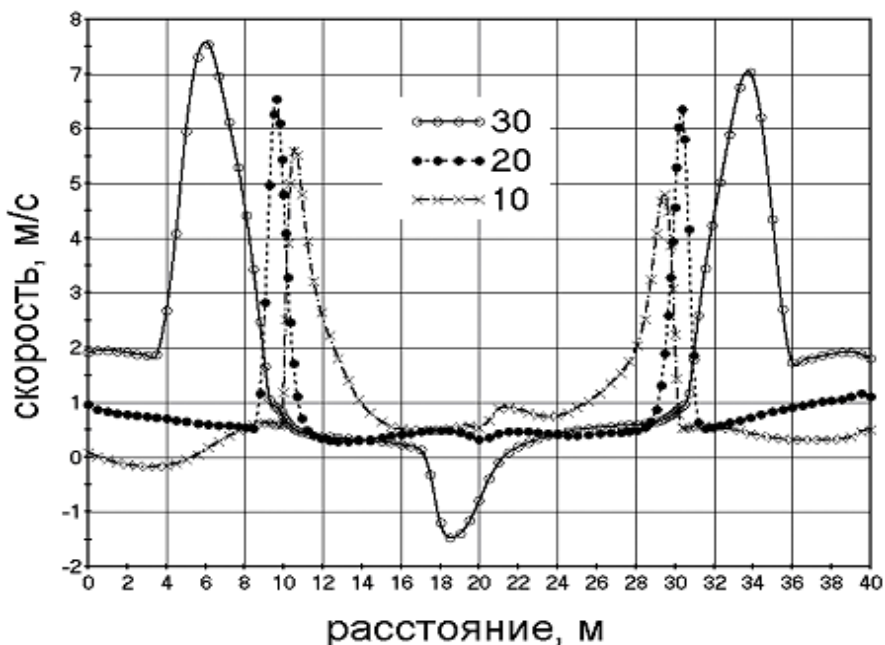


Рис. 15. Профили скорости воздушного потока в горизонтальной плоскости на расстоянии 8 м от выбросного патрубка вентилятора

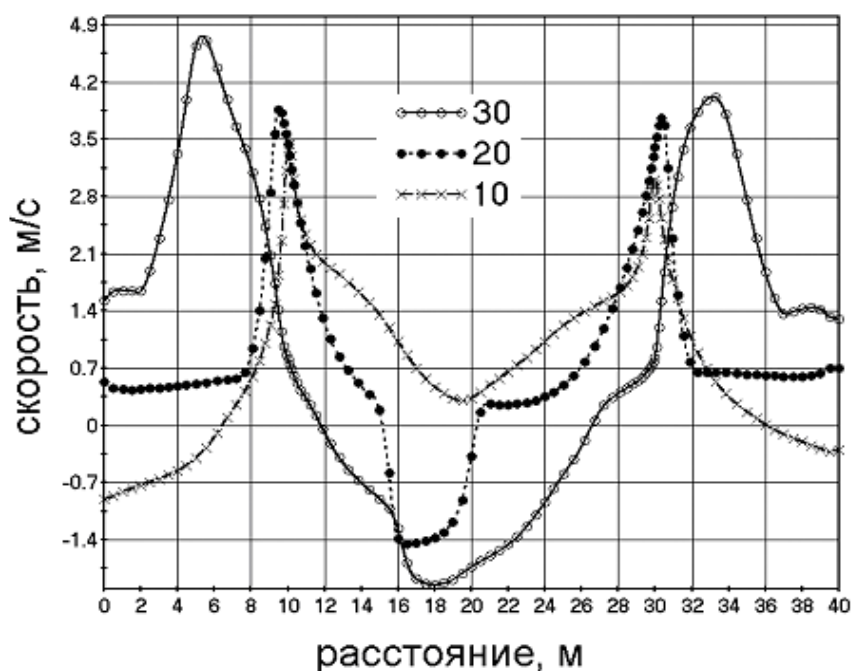


Рис. 16. Профили скорости воздушного потока в горизонтальной плоскости на расстоянии 16 м от выбросного патрубка вентилятора

Из рис. 16 видно, что отрицательных значений не имеет только профиль скоростей, соответствующий расстоянию между параллельно расположенными струйными вентиляторами в 10 м.

Из этого можно сделать вывод о том, что для эффективной работы системы струйной вентиляции расстояние между параллельно расположенными струйными вентиляторами при условиях данного эксперимента должно составлять 10 м.

По результатам проведенных численных экспериментов, а также обзора литературы по струйной вентиляции сформулированы следующие рекомендации по применению таких систем для противодымной защиты автостоянок закрытого типа:

- при оснащении системой струйной вентиляции автостоянок подземных и надземных закрытого типа, имеющих несложную конфигурацию и высоту этажа не более 3 м, расстояние между параллельно расположенными вентиляторами не должно превышать 10 м, расстояние между последовательно расположенными вентиляторами не должно превышать 30 м, причем скорость потока воздуха на выбросных патрубках вентиляторов должна составлять не менее 20 м/с;
- производительность вытяжных вентиляторов должна быть такой,

чтобы обеспечить удаление подводимого струйными вентиляторами объёма воздуха или дыма и предотвратить их циркуляцию внутри помещения;

- при размещении струйных вентиляторов в помещении автостоянки закрытого типа необходимо учитывать возможные препятствия для перемещения воздуха (балки, коммуникации и т.п.) и действия систем, которые могут оказать влияние на работу системы струйной вентиляции (система автоматического пожаротушения, воздушные завесы и т.п.).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработана и апробирована на основании сравнения с экспериментальными данными математическая модель для описания работы системы струйной вентиляции автостоянок закрытого типа.
2. На основе этой модели было проведено исследование работы системы струйной вентиляции автостоянок закрытого типа.
3. Получена детальная картина скоростных, температурных и концентрационных полей в различные моменты времени в зоне действия струйного вентилятора. По результатам вышеприведенных расчетов сделан вывод о том, что система дымоудаления с использованием струйных вентиляторов обеспечивает более равномерное удаление продуктов горения (отсутствуют застойные зоны) по сравнению с системой дымоудаления с воздуховодами, а также частично защищает строительные конструкции от огневого воздействия.
4. Выявлены основные закономерности при работе системы струйной вентиляции автостоянок закрытого типа.
5. Установлены параметры, обеспечивающие эффективную работу системы дымоудаления и вентиляции автостоянки закрытого типа при помощи струйных вентиляторов.
6. Получены данные о том, что использование струйных вентиляторов позволяет частично защищать строительные конструкции (перекрытия) за счет создания в подпотолочной зоне воздушного потока.

7. Произведен анализ данных численных экспериментов с учетом очага и без очага горения.
8. Разработаны рекомендации по применению струйных вентиляторов для противодымной защиты автостоянок закрытого типа.

**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ПРЕДСТАВЛЕНЫ В
СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:**

1. Есин В.М., Калмыков С.П. Использование струйных вентиляторов в системах дымоудаления автостоянок // АВОК. 2006. №2. С. 60 – 62.
2. Калмыков С.П. Численное моделирование работы системы струйной вентиляции закрытой автостоянки // Пожаровзрывобезопасность. 2007. Т. 16. № 1. С. 58 – 63.
3. Есин В.М., Калмыков С.П. Обоснование основных параметров, обеспечивающих эффективную работу системы дымоудаления и вентиляции автостоянки закрытого типа при помощи струйных вентиляторов // Пожаровзрывобезопасность. 2007. Т. 16. № 3. С. 54 – 62.
4. Есин В.М., Калмыков С.П. Эффективность применения струйных вентиляторов для целей противодымной вентиляции автостоянок закрытого типа // Промышленное и гражданское строительство. 2008. № 5. С. 56 – 57.
5. Есин В.М., Калмыков С.П. Дымоудаление и вентиляция автостоянок закрытого типа при помощи струйных вентиляторов. Обоснование основных параметров, обеспечивающих эффективную работу струйных вентиляторов // Актуальные проблемы пожарной безопасности: Материалы Международной науч. – практ. конф. – Ч. 1. – М.: ВНИИ-ПО, 2008. – С. 176 – 178.

Подписано к печати 23.04.2008 г. Формат 60x90/16. Печ. л. 1,5.

Тираж 100 экз. Заказ № 37

Издательство и типография Академии ГПС МЧС России

129366, Москва, ул. Б. Галушкина, 4