

УДК [628.83+628.854]:004.942

Ю.А. СКОБ, М.Л. УГРЮМОВ, А.О. ХОРОХОРДИН

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЕНТИЛЯЦИИ ПОМЕЩЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОСЕВОГО ВЕНТИЛЯТОРА

*Разработана математическая модель вентиляции производственного помещения, на основе которой выполнено численное моделирование движения взрывоопасной газовой примеси в технологическом боксе, оборудованном вытяжной принудительной вентиляцией. Эффект влияния механической вентиляции предлагается учитывать с помощью постановки дополнительных граничных условий на поверхностях вентиляционных проемов. Исследована работа осевого вентилятора в различных режимах, для которых сделана оценка уровня взрывной и пожарной безопасности помещения. Приведены рекомендации по расположению вентиляционного вытяжного проема и режиму работы осевого вентилятора для случая аварийного выброса в помещении газообразного облака водорода.*

**Ключевые слова:** вентиляция помещений, газовая динамика, взрыв газовой смеси, пожарная безопасность.

### Введение

Технологические процессы современных предприятий авиационной промышленности включают использование, транспортировку и хранение газообразных углеводородов, которые в случае возникновения аварий выбрасываются в атмосферу производственных помещений с образованием взрывоопасных облаков [1]. Воспламенение последних приводит к пожарам, разрушению инфраструктуры предприятий и человеческим жертвам. Одним из способов повышения уровня пожаровзрывобезопасности помещений является их вентиляция, которая приводит к снижению концентрации горючих примесей, потенциала, а значит и последствий, вероятного взрыва и пожара [2]. Численное моделирование физических процессов, возникающих в случае реализации одного из возможных аварийных сценариев, оценка эффективности работы вентиляционной системы помещения является важной технической проблемой.

Вентиляционная система представляет совокупность различных по назначению вентиляционных установок, способных обслуживать отдельное помещение. В зависимости от способа перемещения воздуха в рабочих помещениях вентиляция делится на: искусственную (механическую), естественную и комбинированную. При естественной вентиляции воздухообмен осуществляется двумя способами: неорганизованно, посредством проветривания через окна, двери и инфильтрации через щели в окнах и дверных проемах, и организовано, посредством аэрации и с помощью дефлекторов [3].

В системах механической вентиляции движение воздуха осуществляется вентиляторами. По месту расположения механическая вентиляция бывает общеобменная (смена воздуха во всем помещении), местная или локальная (обмен воздуха в местах образования выбросов) и комбинированная. По способу подачи воздуха механическая вентиляция подразделяется на приточную, вытяжную и приточно-вытяжную [4].

Вследствие того, что масштабы и сложность рассматриваемой задачи предполагают огромные затраты ресурсов вычислительной техники, возникает необходимость разного рода упрощений математической модели, которые не приведут к снижению точности получаемого решения [5]. Целью данной работы является оценка эффективности работы осевого вентилятора с точки зрения обеспечения необходимого уровня пожаровзрывобезопасности производственного помещения, в котором произошел аварийный выброс водорода.

### 1. Характеристики сети и вентилятора

Всю систему, через которую проходит перемещаемый вентилятором воздух, принято называть сетью. Потери давления, связанные с этим перемещением, составляют сопротивление сети (потери на трение, вихреобразование, удар при внезапном расширении и т.п.). Для создания и поддержания определенного расхода воздуха в сети (установившееся течение) необходимо, чтобы вентилятор создавал повышение давления  $P_v$ , равное сопротивлению сети при данной производительности  $Q$ .

Аэродинамическая характеристика вентилятора представляет собой зависимость давления  $P_v$ , мощности на валу рабочего колеса  $N$  и коэффициента полезного действия  $\eta = P_v Q / N$  от производительности  $Q$ . Тип вентилятора характеризуется быстротходностью  $n = Q^{1/2} / P_v^{3/4}$ . Класс осевых вентиляторов весьма широк.

Наиболее простой в эксплуатации является схема вентилятора без входного направляющего и выходного спрямляющего аппаратов (рис. 1). Эта схема применяется, когда необходимо получить небольшие повышения давления, а скорость закручивания потока в колесе невелика по сравнению с окружной скоростью вентилятора. При этом невелики и потери давления из-за потерь кинетической энергии потока, обусловленной скоростью закручивания.



Рис. 1. Осевой вентилятор

На втулке рабочего колеса равномерно под одним углом расположены одинаковые лопатки, систему которых называют лопаточным венцом. Число лопаток в венцах может составлять от 2 до 30 в зависимости от типа вентилятора и его особенностей.

## 2. Геометрические параметры решеток профилей

Изучение обтекания лопаточных венцов осевого вентилятора часто сводится к рассмотрению течения в плоских решетках, которые характеризуются определенным набором геометрических параметров [6]: относительной толщиной профиля  $\bar{c} = c/b$ , где  $c$  - толщина профиля,  $b$  - его хорда; относительной вогнутостью профиля  $\bar{f} = f/b$ , где  $f$  - стрела прогиба; положением максимальной толщины к хорде  $\bar{x}_c = x_c/b$ , где  $x_c$  - максимальная толщина; положением максимальной стрелы прогиба вдоль хорды  $\bar{x}_f = x_f/b$ ; густотой решетки  $\tau = b/t$ , где  $t$  - шаг решетки; углом установки (углом наклона профиля между хордой профиля и фронтом решетки)

$\theta_r$ . Для вентиляторов характерны следующие значения параметров решетки и профиля:  $\bar{c} = 0,03 \dots 0,15$ ,  $\bar{f} = 0 \dots 0,15$ ,  $\bar{x}_c = 0,25 \dots 0,4$ ,  $\bar{x}_f = 0,4 \dots 0,6$ ,  $\tau = 0,08 \dots 2,0$ ,  $\theta_r = 10 \dots 80^\circ$ . Конфигурация профиля задается координатами, определяющими симметричный профиль, например, обобщенный аналитический профиль С.А. Чаплыгина, который «надевается» на среднюю линию.

Наряду с профильными лопатками широко используются в практике лопатки листовой конструкции постоянной толщины.

## 3. Поток в осевом вентиляторе

Поток, обтекающий лопатки осевого вентилятора, имеет существенно трехмерный характер и характеризуется величиной и направлением скорости, давлением и плотностью газа в различных сечениях. Основные закономерности течения описываются уравнениями движения и уравнением неразрывности.

Реальная структура потока в вентиляторе отличается от теоретической схемы из-за вязкости газа, а также из-за наличия радиальных зазоров. Силы трения, возникающие на обтекаемых поверхностях лопаток, корпуса и втулки, приводят к возникновению пограничных слоев и вторичных течений, что в свою очередь искажает идеализированную структуру потока, генерирует его радиальную и окружную неравномерность.

Для учета существенно трехмерного характера течения была построена математическая модель и решена задача обтекания венцов турбомашин пространственным потоком с учетом эффектов вязкости [7]. На основе автоматизированного компьютерного комплекса программ для расчета вязких течений в каналах турбомашин «Эксперт» [8] и разработанной методики пространственного профилирования дозвуковых венцов осевых компрессоров в области сопряжения пера лопаток с торцевой поверхностью [9] была осуществлена оптимизация венцов [10] и проведено имитационное моделирование управления отрывом потока в межлопаточных каналах турбомашин [11].

## 4. Постановка задачи вентиляции помещения

Вентиляционные системы представляют собой сложные инженерные сооружения, газодинамический расчет которых является самостоятельной задачей. В общем случае расчётная область является многосвязной и включает в себя набор каналов и устройств вытяжки или напора воздуха.

Для получения трехмерной картины течения газовой смеси в вентилируемом помещении знание ряда характеристик вентиляционной системы (длина и геометрия вентиляционных каналов, конструкция вентиляторов и др.) не является принципиально важным, поэтому можно не рассматривать детально работу всей вентиляционной системы, а учитывать лишь параметры потока (например, расход газа), которые она обеспечивает. Абстрагируемся от вентиляционной системы, а для учета влияния ее работы на общую картину течения в помещении будем задавать дополнительные граничные условия на поверхностях основной расчетной области, которые примыкают к вентиляционным проемам.

Рассмотрим движение газовой смеси в помещении, в котором произошел аварийный выброс взрывоопасной примеси (рис. 2). Под влиянием работы вытяжного вентилятора вентиляционной системы в выходной проем будет поступать газовая смесь из помещения с суммарным расходом  $G$ . Подача свежего воздуха со скоростью  $C$  будет осуществляться через входной проем помещения.

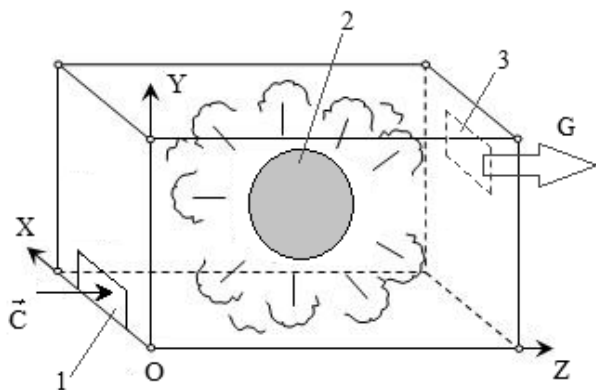


Рис. 2. Расчетная схема вытяжной вентиляции помещения: 1 – проем для подачи свежего воздуха; 2 – облако взрывоопасной примеси; 3 – вентиляционный вытяжной проем

Картина течения газовой смеси в помещении будет определяться режимом работы вентилятора, площадью и местом расположения проемов вентиляционной системы. Газовая взрывоопасная примесь, рассеиваясь, будет вытекать из помещения в выходной проем, что обеспечивается работой вентилятора. Общая масса примеси в помещении будет таким образом уменьшаться, снижая уровень его пожаровзрывоопасности.

## 5. Математическая модель

Для выполнения числительного эксперимента, позволяющего оценить работоспособность разработанной технологии учета влияния вентиляции, использовалась математическая модель формирования

и рассеяния газовой смеси в приземном слое атмосферы [12]. Предполагается, что основным фактором, влияющим на рассматриваемые физические процессы, является конвективный перенос массы, импульса и энергии. Поэтому достаточно использовать упрощенные уравнения Навье–Стокса, которые получены отбрасыванием вязких членов в уравнениях движения газовой смеси (эйлеров подход с источниковыми членами).

Расчетная область представляет собой параллелепипед, который расположен в правой декартовой системе координат (рис. 1) и разбит на пространственные контрольные объемы, размеры которых определяются масштабом характерных особенностей области (шероховатостью поверхностей, габаритами объектов).

## 6. Метод расчета

Компьютерное решение системы фундаментальных уравнений газовой динамики для смеси, дополненной законами сохранения массы примесей в интегральной форме, получено явным методом С.К.Годунова [13]. Для аппроксимации уравнений Эйлера применяется конечно-разностная схема первого порядка. Центральные разности второго порядка используются для диффузионных источников членов в уравнениях сохранения примесей. Простая интерполяция давления применяется в вертикальном направлении. Метод С.К.Годунова характеризуется свойством робастности – устойчивостью к большим возмущениям параметров потока (например, давления).

В основе метода расчета лежит идея использования для построения разностной схемы точных решений уравнений с кусочно-постоянными начальными данными. Для системы дифференциальных уравнений в частных производных гиперболического типа такие решения распадаются на совокупности независимых и сравнительно просто решаемых подзадач – «распадов разрывов» [13].

В результате дискретизации расчетной области поверхность вентиляционного проема разбивается на ряд конечно-разностных ячеек в плоскости XOY. При равномерном разбиении в направлении осей OX и OY площади граней «вентиляционных» ячеек одинаковы. Принимая допущение о равномерности потока в вентиляционном канале, можно определить индивидуальный заданный расход газа для каждой из «вентиляционных» ячеек  $G_i = G_Y/k$ , где  $k$  – количество ячеек, примыкающих к вентиляционному проему.

Пусть имеется газовая среда, для которой термодинамические величины: давление  $P$ , плотность  $\rho$ , внутренняя энергия единицы массы  $\varepsilon$  подчиняют-

ся уравнению состояния. Предположим, что в начальный момент времени  $t$  для левого полупространства  $x < 0$  среда характеризуется значениями параметров  $P_1, \rho_1, u_1$ , а для правого полупространства  $x > 0$  – значениями  $P_2, \rho_2, u_2$  (здесь  $u$  – компонента вектора скорости в направлении координаты  $x$ , а другие ее компоненты равны нулю) (рис. 2).

Если привести в соприкосновение две массы газа, сжатые до различных давлений ( $P_1$  – давление в помещении,  $P_2$  – давление, генерируемое вентиляционной системой), и убрать перегородку между ними, то поверхность их соприкосновения будет поверхностью разрыва в начальном распределении давления. Начальный разрыв распадается на несколько разрывов, которые с течением времени будут отходить друг от друга. Схематически автомодельная картина возникающего течения на плоскости  $x, t$  соответствует одной из пяти возможных конфигураций, содержащих контактный разрыв КР, ударную волну УВ и волну разрежения ВР. На контактном разрыве испытывает скачок плотность, а значит и внутренняя энергия ( $R_1, E_1$  – для левой и  $R_2, E_2$  – для правой области), а давление  $P$  и поперечная компонента скорости  $U$  непрерывны. В свою очередь, эти области отделены от невозмущенных областей с параметрами ( $P_1, \rho_1, u_1$ ) слева и ( $P_2, \rho_2, u_2$ ) справа либо ударной волной УВ, либо волной разрежения ВР.

Решая задачу распада разрыва на грани конечно-разностной ячейки, примыкающей к вентиляционному проему, можно определить плотность  $R$  и скорость  $U$ , а значит и индивидуальный расход газа  $G_i$  через рассматриваемую грань. Используя метод итераций, можно подобрать давление  $P_2$  таким образом, чтобы расчетный расход газа  $G_i$  отличался от заданного  $G$  на наперед заданную малую величину.

Тестирование предлагаемого итерационного алгоритма показало быструю сходимость процесса подбора давления вентиляции при незначительном увеличении общего времени нестационарного расчета движения газовой смеси в вентилируемом помещении.

Кроме того, предложенная технология расчета вентиляционного расхода применима к любой из шести поверхностей, ограничивающих помещение (потолок, стены, пол) и позволяет реализовать как вытяжную, так и напорную схему принудительной вентиляции.

## 7. Апробация разработанной модели

Предложенный метод учета влияния механической вентиляции на течения газовой смеси в помещении был реализован в виде подсистемы исследовательского программного комплекса «Fire» [14].

Компьютерная система позволяет выполнять трехмерный анализ рассеяния взрывоопасных и токсичных газообразных примесей во времени и пространстве в практически приемлемое время и осуществлять прогноз рисков взрывов и пожаров, возникающих в результате реализации одного из сценариев техногенной аварии в помещении.

Тестирование разработанной технологии и анализ эффективности метода проводились на примере рассеяния стехиометрического сферического облака водорода радиусом 1 м с координатами центра  $x=1,8$  м,  $y=1,4$  м,  $z=2,2$  м в расчетной области с габаритами  $3,6 \times 2,8 \times 4,5$  м в варианте по количеству ячеек вдоль координатных осей  $36 \times 28 \times 45$ . Вентиляционный проем для подачи свежего воздуха в помещение естественным способом размещался в центре передней стенки бокса у земли и имел габариты  $0,4 \times 0,4 \text{ м}^2$ . Вытяжной вентиляционный проем с такими же габаритами размещался в центре задней стенки бокса у потолка. Для механической вытяжки газов из помещения использовался осевой вентилятор ВО 06-300 №2,5 Донецкого вентиляторного завода [15], характеристика которого при работе на воздухе изображена на рис. 3. Диаметр рабочего колеса вентилятора составляет 250 мм, производительность –  $550\text{--}850 \text{ м}^3/\text{ч}$ , избыточное давление –  $19\text{--}26 \text{ Па}$ . Этот вентилятор является вентилятором общепромышленного назначения и предназначен для работы с неагрессивными газами.

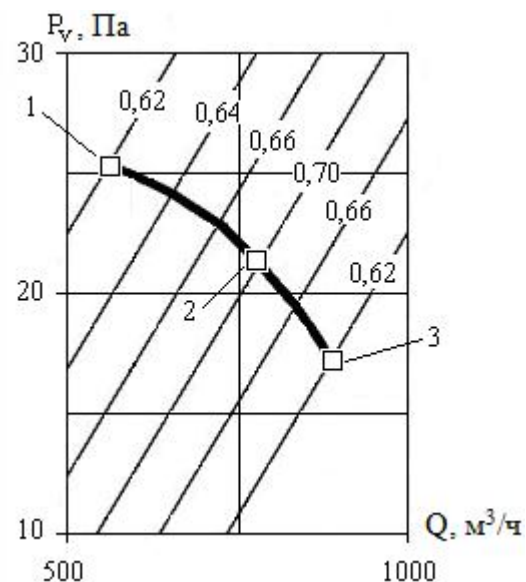


Рис. 3. Характеристика осевого вентилятора ВО 06-300 №2,5 (1340 об/мин, 0,12 кВт):  
1 – минимальный, 2 – номинальный и 3 – максимальный режимы

Суммарный расход газа  $G_{\Sigma}$ , который обеспечивает вентилятор на минимальном ( $550 \text{ м}^3/\text{ч}$ ), номинальном ( $750 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) и максимальном ( $850 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) ре-

жимах вытяжки газовой смеси, поддерживался в предположении, что, поступающий через входной проем помещения, воздух соответствует нормальным условиям. Расчеты производились до полного удаления водорода из помещения за счет вытяжной вентиляции.

Работа осевого вентилятора осуществляет принудительный отток газовой смеси с расходом  $G_{\Sigma}$  из помещения через выходной вентиляционный проем (рис. 1). При этом во входном проеме естественной вентиляции, вырабатывается приточное течение, подобное сгенерированному потоку у проема вытяжки.

Анализ изменения массовой концентрации водорода для случая работы осевого вентилятора на всех режимах проводился в центральной относительно оси OX плоскости. На рисунке 4 изображена

динамика изменения области, занимаемой облаком, в которой концентрация водорода находилась в концентрационных пределах воспламенения. В процессе вентиляции облако существенно изменяет свою форму и размеры в соответствии с течением газовой смеси, которое вырабатывается исходя из выбранной схемы принудительной вентиляции.

В качестве показателя уровня пожаровзрывобезопасности вентилируемого производственного помещения может служить суммарная масса взрывоопасной примеси водорода (рис. 5), определенная как сумма масс примеси во всех элементарных контрольных объемах, массовая концентрация водорода в которых попадала в концентрационный диапазон воспламеняемости ( $0,014 < Q < 0,929$ ) [16], т.е. там, где возможен взрыв.

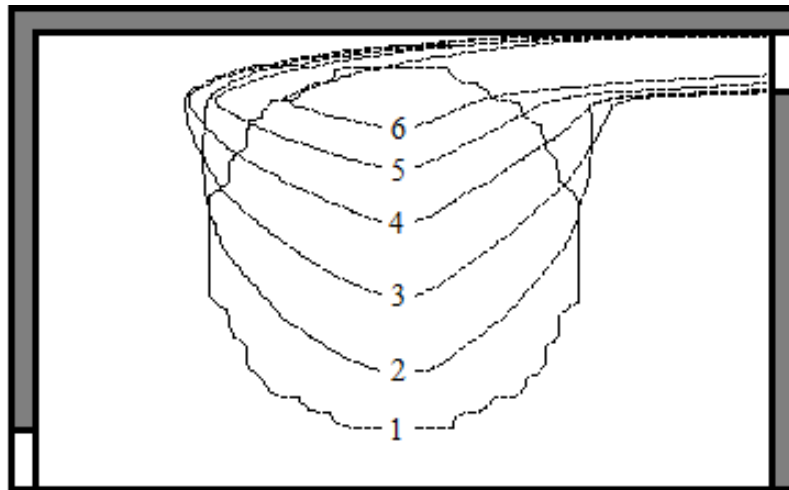


Рис. 4. Динамика изменения области воспламенения в процессе вентиляции:  
1-6 – область спустя 0, 3, ..., 15 с после начала вентиляции

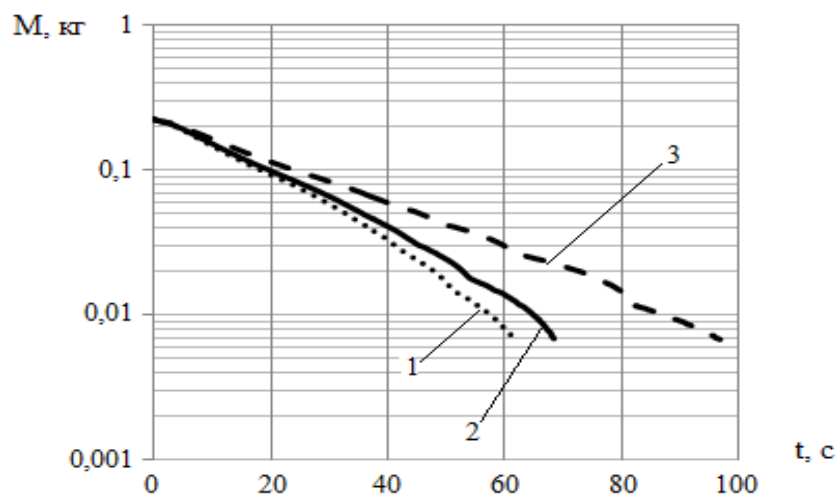


Рис. 5. Изменение во времени массы примеси в пределах воспламенения в помещении:  
1 – максимальный, 2 – номинальный и 3 – минимальный режимы работы вентилятора

Расчет прекращался, когда текущая суммарная масса взрывоопасной примеси водорода в пределах помещения, отнесенная к ее начальному значению в момент выброса облака при аварии, становилась меньше 1%.

Анализ суммарной массы водорода, который может воспламениться и привести к взрыву, свидетельствует об уменьшении ее величины в процессе вентиляции, и, соответственно, снижению рисков материального ущерба и человеческих жертв, вероятных в случае пожара в данном технологическом боксе. Как и следовало ожидать, время до полной вытяжки примеси из помещения для максимального режима работы вентилятора составляет минимальную величину по сравнению с другими режимами работы вентиляционной системы. Худший уровень пожаровзрывобезопасности обеспечивает минимальный режим, при котором время вытяжки увеличивается более чем в 1,5 раза. Номинальный режим можно рекомендовать как основной, т.к. время вытяжки возрастает незначительно относительно максимального режима, а КПД вентилятора при этом соответствует максимальным значениям.

### Заключение

Разработана математическая модель и вычислительный метод, которые позволяют анализировать влияние работы вытяжной вентиляции на пространственную картину течения газовой смеси в помещениях промышленного и бытового назначения. Рассмотрены геометрические и аэродинамические характеристики осевых вентиляторов, которые применяются для обеспечения вентиляции в производственных помещениях, где при реализации технологических процессов могут возникать взрывоопасные газовые смеси. В рамках предложенного метода выполнено численное моделирование течения водородо-воздушной газовой смеси в технологическом боксе в условиях механической вентиляции при минимальном, номинальном и максимальном режимах работы вентилятора. Анализ суммарной массы горючего газа, находящегося в пределах воспламеняемости, позволяет рекомендовать номинальный режим вентилятора как оптимальный с точки зрения уровня пожаровзрывобезопасности помещения и минимальных затрат энергии для обеспечения процесса вентиляции.

### Литература

1. Батулин, В.В. Основы промышленной вентиляции [Текст] / В.В. Батулин. – М.: Профиздат, 1990. – 450 с.

2. Макашев, В.А. Опасные ситуации техногенного характера и защита от них [Текст]: учеб. пособие / В.А. Макашев, С.В. Петров. – М.: Изд. ЭНАС, 2008. – 191 с.

3. Отопление и вентиляция [Текст]: Учебник для вузов. В 2-х ч. Ч. 2. Вентиляция / под ред. В.Н. Богословского. – М.: Стройиздат, 1976. – 439 с.

4. Волков, О.Д. Проектирование вентиляции промышленного здания [Текст]: учеб. пособие / О.Д. Волков. – Х: Вища шк. Изд-во при ХГУ, 1989. – 240 с.

5. Papanikolaou, E.A. CFD modeling for helium releases in a private garage without forced ventilation [Электронный ресурс] / E.A. Papanikolaou, A.G. Venetsanos // 1-st International Conference on Hydrogen Safety. – Pisa (Italy). – 2005. – 10 p. – Режим доступа: <http://conference.ing.unipi.it/ichs2005/Papers/320121.pdf>. – 3.02.2013.

6. Брусиловский, И.В. Аэродинамика осевых вентиляторов [Текст] / И.В. Брусиловский. – М.: Машиностроение, 1984. – 240 с.

7. Меньшиков, В.А. Решение задачи обтекания венцов турбомашин пространственным потоком с учетом эффектов вязкости [Текст] / В.А. Меньшиков, Ю.А. Скоб, М.Л. Угрюмов // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. – 1991. – №6. – С. 119 – 127.

8. Свідоцтво про державну реєстрацію виключної правомірності особи на твір ВП № 666 (Україна). Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». Комп'ютерна інтерактивна система аеродинамічного аналізу і удосконалення вінків турбомашин «Експерт» [Текст] / М.Л. Угрюмов, Ю.К. Чернишов, Ю.А. Скоб, С.А. Прокоф'єв. – Дата реєстрації 27.10.2000; Дата видачі 27.11.2000.

9. Методика просторового профілювання дозвукових венцов осевих компресорів в області сопряжения пера лопаток с торцевой поверхностью [Текст] / Н.М. Савин, М.Л. Угрюмов, В.А. Меньшиков, Ю.А. Скоб, В.В. Белик // Лопаточные машины и струйные аппараты: Труды ЦИАМ. – М., 1996. – Вып. 13, №1296. – С. 69-80.

10. Применение моделирующего трехмерное вязкое течение компьютерного комплекса для оптимизации венцов осевого компрессора [Текст] / М.Л. Угрюмов, В.В. Константинов, А.М. Цегельник, Ю.А. Скоб, В.И. Письменный, А.В. Меняйлов // Авиационно-космическая техника и технология: Сб. науч. тр. / Государственный аэрокосмич. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 1999. – Вып. 9. – С. 80-84.

11. Имитационное моделирование управления отрывом потока в межлопаточных каналах турбомашин [Текст] / М.Л. Угрюмов, Ю.А. Скоб, В.А. Меньшиков, В.В. Константинов, А.М. Цегельник // Вестник Харьковского государственного политехнического ун-та: сб. науч. тр. / ХГПУ. – Х., 1999. – Вып. 73. – С. 161-166.

12. *Numerical Modeling of Hydrogen Release, Mixture and Dispersion in Atmosphere [Электронный ресурс]* / E.A. Granovskiy, V.A. Lyfar, Yu.A. Skob, M.L. Ugryumov // 1-st International Conference on Hydrogen Safety. – Pisa (Italy). – 2005. – 11 p. – Режим доступа: <http://conference.ing.unipi.it/ichs2005/Papers/110021.pdf>. – 3.02.2013.

13. *Численное решение многомерных задач газовой динамики [Текст]* / С.К. Годунов, А.В. Забродин, М.Я. Иванов и др. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит-ры, 1976. – 400 с.

14. *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 30079 (Україна). Комп'ютерна*

*програма «Комп'ютерна інтерактивна система інженерного аналізу та прогнозу руху хімічно реагуючих газоповітряних сумішей в задачах промислової аеродинаміки та екології атмосфери «FIRE»» [Текст]* / Ю.А. Скоб, М.Л. Угрюмов, К.П. Коробчинський. – Дата реєстрації 28.08.2009.

15. *Донецкий вентиляторный завод. Вентилятор осевой ВО 06-300 №2,5 [Электронный ресурс]*. – Режим доступа: <http://dwz.com.ua/product/23>. – 20.03.2013.

16. *Баум, Ф.А. Физика взрыва [Текст]* / Ф.А. Баум, К.П. Станюкович, Б.И. Шехтер. – М.: Гос. изд. физ.-мат. лит-ры, 1959. – 801 с.

*Поступила в редакцию 25.03.2013, рассмотрена на редколлегии 10.04.2013*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. кафедры химии, экологии и экспертных технологий В.Н. Кобрин, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВЕНТИЛЯЦІЇ ПРИМІЩЕННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ОСЬОВОГО ВЕНТИЛЯТОРА

*Ю.О. Скоб, М.Л. Угрюмов, А.О. Хорохордін*

Розроблено математичну модель вентиляції виробничого приміщення. На основі моделі виконано чисельне моделювання руху вибухонебезпечної газової домішки в технологічному боксі, обладнаному витяжною примусовою вентиляцією. Ефект впливу механічної вентиляції пропонується враховувати за допомогою постановки додаткових граничних умов на поверхнях вентиляційних отворів. Досліджено роботу осьового вентилятора в різних режимах, для яких зроблено оцінку рівня вибухової та пожежної безпеки приміщення. Приведені рекомендації з розташування вентиляційного витяжного отвору і режиму роботи осьового вентилятора для випадку аварійного викиду в приміщенні хмари газоподібного водню.

**Ключові слова:** вентиляція приміщень, газова динаміка, вибух газової суміші, пожежна безпека.

### NUMERICAL RESEARCH OF THE ROOM VENTILATION PROCESS USING AXIAL FAN

*Y.A. Skob, M.L. Ugryumov, A.O. Khorokhordin*

A mathematical model of ventilation of industrial premises is developed. The numerical simulation based on this model of the motion of explosive gaseous admixture in the technological box, equipped with forced ventilation exhaust is made. The effects of mechanical ventilation are suggested to consider using the setting of additional boundary conditions on the surfaces of the ventilation openings. The operation of an axial fan in different modes was investigated. An assessment of explosion and fire safety level of the facilities was made. The recommendations on the location of the ventilation opening and operation mode of the axial fan for the case of accidental release of hydrogen cloud were made.

**Key words:** ventilation of the room, gas dynamics, gas mixture explosion, fire safety.

**Скоб Юрий Алексеевич** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры информатики, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: [yuriy.skob@gmail.com](mailto:yuriy.skob@gmail.com).

**Угрюмов Михаил Леонидович** – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры информатики, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: [mlu@xai.kharkov.ua](mailto:mlu@xai.kharkov.ua).

**Хорохордін Артем Олегович** – аспірант кафедри информатики, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: [artem.khd@yandex.ua](mailto:artem.khd@yandex.ua).