

УДК 628.8:519.6

*Скоб Ю.А., канд. техн. наук, доц., НАКУ "ХАИ",  
Вамболь С.А., канд. техн. наук, зав. каф., НУГЗУ,  
Угрюмов М.Л., д-р техн. наук, проф., НАКУ "ХАИ",  
Грановский Э.А., канд. техн. наук, рук., НЦ ИР «Ризикон»,  
Лыфарь В.А., канд. техн. наук, доц., СТИ ВУГУ*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЙНИЯ ГАЗА В ВЕНТИЛИРУЕМОМ ПОМЕЩЕНИИ**

(представлено д-ром техн. наук Туркиным И.Б.)

Разработан метод учета вентиляции в процессе движения газовой смеси в помещении гаража. Метод основывается на постановке дополнительных граничных условий на поверхностях, прилегающих к вентиляционным каналам, и решении задачи распада разрыва для обеспечения заданного расхода вентиляции. Получаемые параметры потока используются при интегрировании уравнений движения газовой смеси методом С.К. Годунова.

**Ключевые слова:** принудительная и естественная вентиляция, пожарная безопасность, рассеяние газовой примеси, математическое моделирование

**Постановка проблемы.** Все возрастающее использование водорода в промышленности, транспорте и быту становится отличительной чертой современного технологически развитого общества. С другой стороны, этот газ является исключительно взрывоопасным, и отказы в работе оборудования могут приводить к аварийным выбросам водорода в атмосферу, формированию взрывоопасных облаков, рассеянию их в помещениях, взрывам и пожарам, которые сопровождаются человеческими жертвами и значительным материальным ущербом. Масштабы последствий пожаров зависят от эффективности применяемых систем защиты [1]. Одним из способов снижения уровня пожаровзрывоопасности производственных и бытовых помещений является их вентиляция (естественная и принудительная) [2]. Для грамотного планирования работы вентиляционных систем в зданиях требуются эффективные математические модели и компьютерные системы, которые позволяют на этапе проектирования выполнять анализ и прогноз движения газовой смеси в зданиях в случае реализации различных аварийных сценариев [3]. Вследствие того, что масштабы

и сложность рассматриваемой задачи предполагают огромные затраты ресурсов вычислительной техники, возникает необходимость разного рода упрощений, которые не приводят к снижению точности получаемого решения [4]. Целью данной работы является разработка нового математического метода учета движения газовой смеси в производственном помещении, оборудованном средствами вентиляции.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Разработка рекомендаций и законодательных инструкций, касающихся задач исследования условий хранения водородных систем внутри помещений является одной из целей европейского проекта HYSAFE (Safety of Hydrogen as an Energy Carrier).

Проблеме оценки рисков возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с утечкой водорода из автомобилей, оборудованных водородными топливными баками в вентилируемых тоннелях, была посвящена работа [5], основанная на применении CFD (Computational Fluid Dynamics). Получены базовые данные о поведении водорода под влиянием условий принудительной вентиляции.

Моделирование на основе CFD-кода ADREA-HF одного из наиболее вероятных сценариев аварийной ситуации – медленного и длительного по времени выброса водорода из транспортного средства в частном гараже с естественной вентиляцией – было выполнено (на примере гелия) в работе [6].

Проблема естественной вентиляции закрытого помещения для парковки автомобиля, в котором произошла утечка водорода, исследовалась в работе [7]. Базируясь на CFD-коде FLUENT, авторы рассмотрели различные варианты вентиляционных проемов в типичном двухсекционном гараже, изучили влияние термического фактора на циркуляцию примеси.

Вопросам детонации в результате аварийного выброса водорода в замкнутом пространстве посвящена работа [8]. На основе технологии CFD получено существенное влияние условий предварительного формирования взрывоопасного облака на масштаб последствий от последующего детонационного взрыва.

Рассеяние водорода в помещении было исследовано в работе [9] с использованием аналитических моделей и CFD-подхода, основанного на LES-модели (Large-Eddy-Simulation). Получено, что аналитическое решение не позволяет адекватно воспроизвести

явления диффузии и стратификации на этапе смешивания в процессе формирования газо-воздушной смеси.

В работе [10] проведено комплексное сравнение возможностей различных CFD-моделей прогнозировать разные по длительности варианты рассеяния и смешивания водорода в гараже. Получен существенный разброс в результатах моделирования, что объясняется различиями в моделях турбулентности и точности расчетов (разрешение во времени и пространстве, порядок аппроксимации конечно-разностной схемы).

В расчетно-экспериментальном исследовании [11] изучались возможности доставки по трубопроводу конечному пользователю водородо-метановой смеси, экстрагированию водорода из смеси и использованию такого рода смеси в различных бытовых устройствах. Соответственно, аварийные выбросы водорода влекут за собой угрозу общественной безопасности, уровень которой оценивается в работе на базе разработанной модели. Интерпретация результатов показывает, как фактор плавучести, так и вентиляция играют важную роль в рассеянии водорода в атмосфере.

Экспериментальная работа [12] была посвящена изучению влияния скорости вентиляции и интенсивности утечки водорода на распределение его концентрации в закрытой системе и оценке рисков, ассоциированных с дефлаграционным горением водорода. Получено, что избыточное давление, генерируемое дефлаграцией, в большинстве случаев незначительное и несет небольшой риск поражения людей и разрушения помещения. Основной риск несет возникающая термическая нагрузка на окружающую среду, приводящая к пожару. Из исследования следует, что максимальная концентрация водорода пропорциональна отношению интенсивности утечки к скорости вентиляции. Поэтому требуемая скорость вентиляции может быть оценена исходя из предполагаемой интенсивности утечки водорода.

В работе [13] рассматриваются риски возникновения взрывоопасной ситуации вследствие неконтролируемого выброса водорода из автомобиля, работающего на водороде, который помещен в закрытое пространство гаража. В качестве мероприятия уменьшения масштаба последствий от возможного пожара и взрыва рассматривается вентиляция гаража и оценка ее оптимальной работы.

Расчетное исследование [14] было посвящено компьютерному моделированию процессов выброса и рассеяния сжатого водорода в

вентилюючим боксе хранения на заправочній станції на основі CFD-кода ADREA-HF. Структура виникаючих потоків аналізувалася на базі прогнозованих розподілів концентрації водороду. Досліджувалося також вплив параметрів викиду, природної вентиляції і вітрових умов.

Приведений огляд робіт показує, що комп'ютерне моделювання, базуючись на CFD, є найбільш загальним методом. С іншої сторони, специфічні сценарії розвитку розглянутих аварійних ситуацій включають умови для повільних типів течій (ламинарних і перехідних), вибір моделі турбулентності для яких не є тривіальною задачею. Крім того, кожна з великої кількості моделей турбулентності (около п'ятидесяти), добре веде себе тільки для того типу течії, для якого вона була розроблена. Тому розробка нових математичних методів кількісного аналізу фізичних процесів, виникаючих при викиді і розсіянні водороду в приміщеннях, обладнаних вентиляцією, на основі яких можна отримати адекватне просторове розподілення масової концентрації водороду для оцінки рівня пожежовзривобезпеки приміщень і ефективності роботи вентиляційної системи, є актуальною задачею.

**Постановка задачі і її рішення.** Розглядається рух водородо-повітряної газової суміші, виниклої внаслідок витікання водороду з інтенсивністю 7200 л/ч з автомобіля, знаходячись в гаражному приміщенні (рис. 1), обладнаному природною і примусовою вентиляцією. Під впливом роботи вентиляційної системи в вихідній проемі буде поступати газова суміш з приміщення з сумарним витратом  $G$ . Постачання свіжого повітря зі швидкістю  $C_1$  буде здійснюватися через вхідний проем приміщення. Для моделювання різних варіантів вентиляції використовувався CFD-код FIRE<sup>®</sup> [15]. Отриманий розподілення концентрації водороду використовувався для аналізу потенціалу ймовірного вибуху газового хмари.

Для виконання комп'ютерного моделювання, що дозволяє оцінити ефективність варіанта вентиляції і рівня пожежовзривобезпеки, використовувалася математична модель розсіяння газоповітряної суміші в приземному шарі атмосфери [16]. Припускається, що основним фактором, що впливає на розглянуті фізичні процеси, є конвективний перенос маси, імпульсу і енергії. Тому достатньо використовувати уп-

рощенные уравнения Навье–Стокса, полученные отбрасыванием вязких членов в уравнениях движения газовой смеси (эйлеров подход с источниковыми членами).

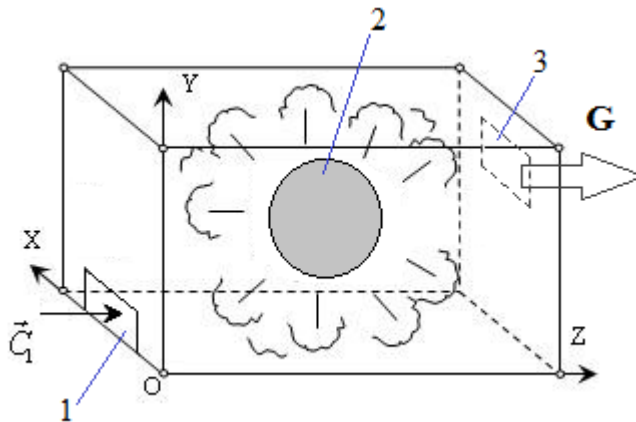


Рис. 1 – Расчетная схема вытяжной вентиляции помещения: 1, 3 – вентиляционные проемы; 2 – облако водорода

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

Численное решение системы фундаментальных уравнений газовой динамики для смеси, дополненной законами сохранения массы примесей в интегральной форме, получено явным методом С.К.Годунова [17]. Для аппроксимации уравнений газовой динамики применяется конечно-разностная схема первого порядка. Центральные разности второго порядка используются для диффузионных членов в уравнениях сохранения примесей. Линейная интерполяция давления применяется в вертикальном направлении.

В результате дискретизации расчетной области поверхность вентиляционного проема также разбивается на ряд ячеек в плоскости  $XOY$  (рис. 2). При равномерном разбиении в направлении осей  $OX$  и  $OY$  площади граней «вентиляционных» ячеек одинаковы. Сделав допущение о равномерности потока в вентиляционном канале, можно определить индивидуальный заданный расход газа для каждой из «вентиляционных» ячеек  $G_i = G_{\Sigma} / k$ , где  $k$  – количество ячеек, примыкающих к вентиляционному проему.

Геометрия гаражного помещения представлена на рис. 3, а габаритные характеристики и расположение отдельных блоков расчетной схемы приведены в табл. 1. Для упрощения автомобиль разбивается на ряд блоков: шасси, кабина, багажник (клин 1), капот (клин 2) и колеса представлены в виде параллелепипедов. Исходя из заданной геометрии сооружения и расположения пятна утечки водорода, вентиляционных проемов, предполагается наличие плоскости симметрии, параллельной  $YOZ$ . Поэтому, в целях экономии ресурсов компьютера, рассматривалась половина расчетной области в ширину. Чтобы избежать неопределенности в задании выходных граничных условий, расчетная область была продолжена за пределы гаража в направлении  $OZ$ , и габариты ее составляли 10 м в длину, 2,8 м – в ширину и 1,9 м – в высоту. Контрольные объемы представляли собой параллелепипеды с размерами 0,1 м во всех направлениях.

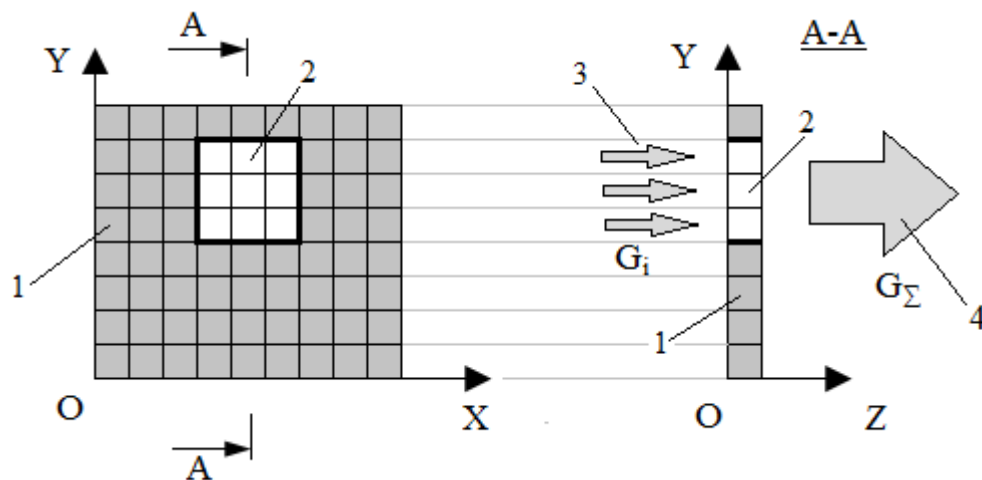


Рис. 2 – Схема дискретизации стены помещения с вентиляционным проемом: 1 – сплошная стена; 2 – вентиляционный проем; 3 – расход газа через ячейку вентиляции; 4 – суммарный расход газа через проем

На всех твердых поверхностях выполнялись условия непротекания. Утечка водорода моделировалась постановкой граничных условий втекания примеси с массовой концентрацией 100%, температурой 293,15 К и постоянным расходом  $G_{\Sigma}=0,000178$  кг/с. Вытяжка осуществлялась постановкой дополнительных граничных условий вытекания газовой смеси с постоянным расходом  $G_{\Sigma}=0,1171236$  кг/с.

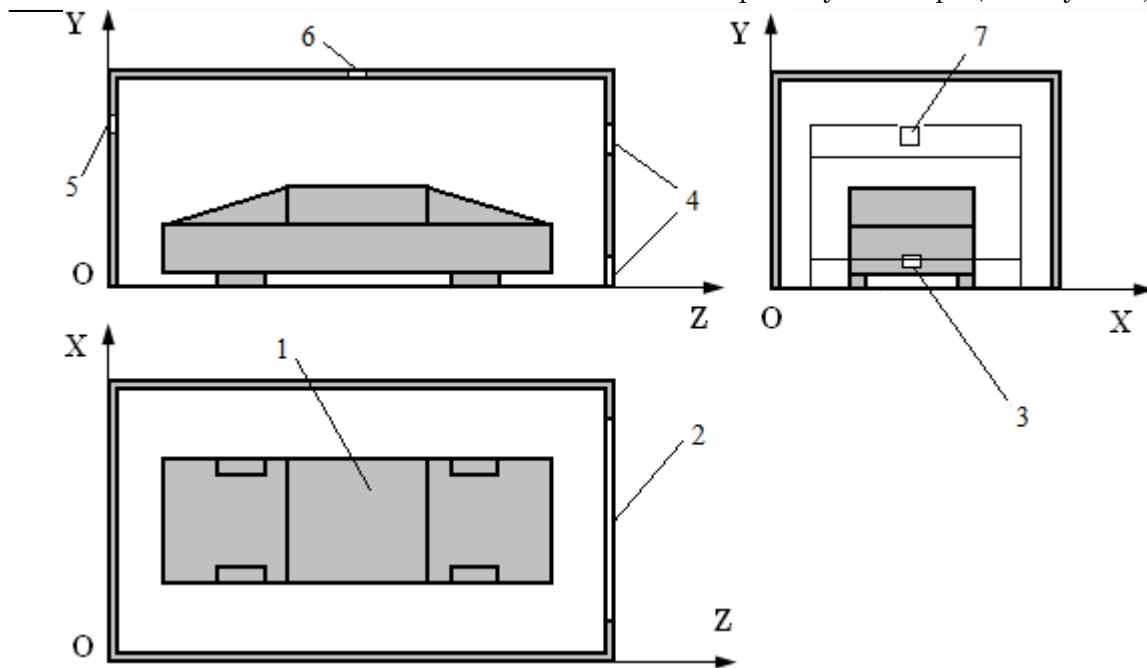


Рис. 3 – Схема расположения геометрических объектов: 1 – автомобиль; 2 – ворота; 3 – утечка; 4 – проемы естественной вентиляции; 5-7 – проемы принудительной вентиляции

Таблица 1 – Геометрические характеристики объектов

Объект	Расположение			Габариты			
	Координаты	Z, м	X, м	Y, м	Z, м	X, м	Y, м
Гараж		0.0000	0.0000	0.0000	6.4203	3.7084	2.3067
Шасси		0.7112	1.0414	0.2032	4.9784	1.6256	0.6000
Клин 1		0.7112	1.0414	0.8032	1.6000	1.6256	0.5430
Клин 2		4.0896	1.0414	0.8032	1.6000	1.6256	0.5430
Кабина		2.3112	1.0414	0.8032	1.7784	1.6256	0.5430
Колесо 1		1.3500	1.0414	0.0000	0.6096	0.2032	0.2032
Колесо 2		4.4000	1.0414	0.0000	0.6096	0.2032	0.2032
Колесо 3		1.3500	2.4638	0.0000	0.6096	0.2032	0.2032
Колесо 4		4.4000	2.4638	0.0000	0.6096	0.2032	0.2032
Ворота		6.4003	0.4826	0.0000	0.0200	2.7432	2.1336
Проем 1		6.4003	0.4826	1.9558	0.0200	2.7432	0.5000
Проем 2		6.4003	0.4826	0.0000	0.0200	2.7432	0.5000
Утечка		0.7112	1.7000	0.2032	0.0000	0.2000	0.1000
Вытяжка 1		0.0000	1.7000	1.9000	0.0000	0.2000	0.2000
Вытяжка 2		3.1000	1.7000	2.3000	0.2000	0.2000	0.0000
Вытяжка 3		6.4000	1.7000	1.9000	0.0000	0.2000	0.2000

Расчеты различных вариантов принудительной вентиляции гаражного помещения проводились до выхода системы на устано-

вившийся режим по распределению массовой концентрации внутри гаража.

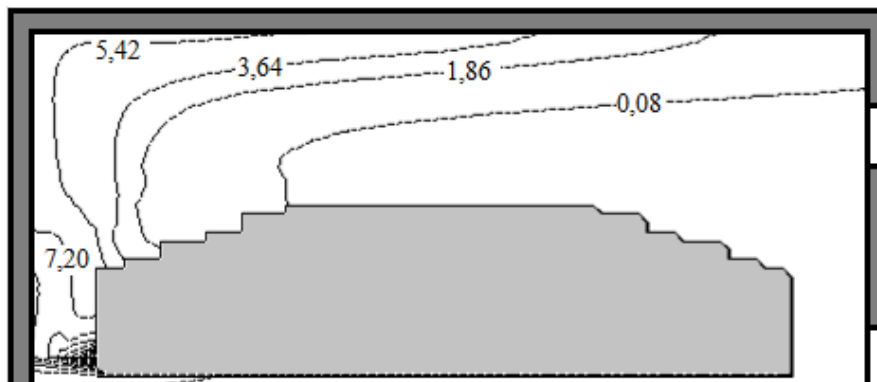


Рис. 4 – Распределение массовой концентрации водорода (естественная вентиляция)

Расчет варианта с естественной вентиляцией (рис 4) был остановлен раньше с целью экономии компьютерных ресурсов. Для оценки уровня пожаровзрывобезопасности помещения анализировалось пространственное распределение массовой концентрации водорода  $Q$ , суммарная масса водорода  $M$ , концентрация которого находилась в пределах воспламеняемости  $1,4\% < Q < 92,9\%$ , и объем помещения  $V$ , который занимает последний (табл. 2).

Таблица 2 – Расчетные показатели пожаровзрывобезопасности

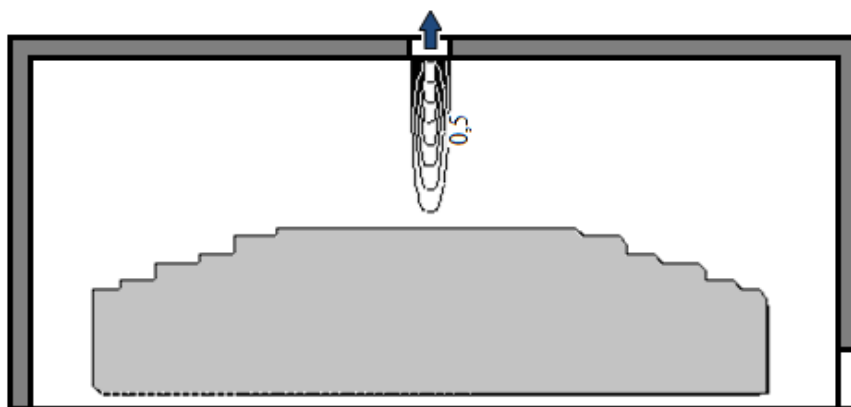
Схема вентиляции	$M$ , кг	$V$ , м <sup>3</sup>
Естественная вентиляция	0.237764	5.918525
Вытяжка справа	0.027786	0.971292
Вытяжка сверху	0.043324	1.597871
Вытяжка слева	0.018796	0.643162

В соответствии с данными расчетов видно, что водород поднимается к потолку рассеиваясь и накапливается в верхней части помещения. Масса водорода  $M$  и объем  $V$  опасной зоны продолжают увеличиваться до достижения установившегося состояния, когда примесь начнет вытекать из верхнего вентиляционного канала естественной вентиляции.

Постановка вытяжного канала принудительной вентиляции на потолке вместо верхнего проема естественной вентиляции у гаражных ворот приводит к существенной перестройке пространственной картины течения. После включения вытяжки (одновремен-

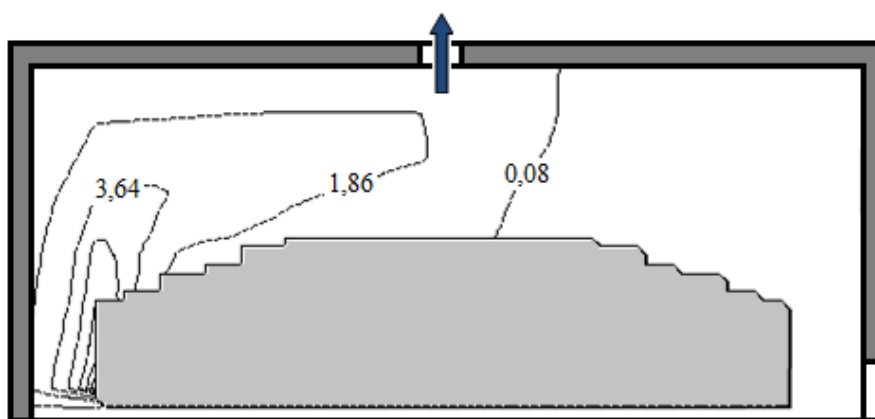


менно с началом утечки водорода) формируется вертикальный поток заданного расхода (рис. 5), увлекающий за собой выбрасываемую из автомобиля примесь (рис. 6).



**Рис. 5 – Распределение вертикальной составляющей скорости (вытяжка «сверху»)**

Расчет значительно раньше выходит на установившийся режим. Суммарная масса и объем взрывоопасного водорода существенно снижаются, уменьшается риск возникновения пожара.



**Рис. 6 – Распределение массовой концентрации водорода (вытяжка «сверху»)**

Постановка вытяжки «справа» еще значительно перестраивает поток. Появляется мощное горизонтальное течение (рис. 7), препятствующее накоплению всплывающего водорода у потолка. Поэтому, не достигая верхней точки помещения, примесь покидает гараж (рис. 8), что благоприятно отражается на суммарных показателях пожаровзрывобезопасности (табл. 2) по сравнению с ранее рассмотренными схемами вентиляции.

Скоб Ю.А., Вамболь С.А., Угрюмов М.Л., Грановский Э.А., Лыфарь В.А.

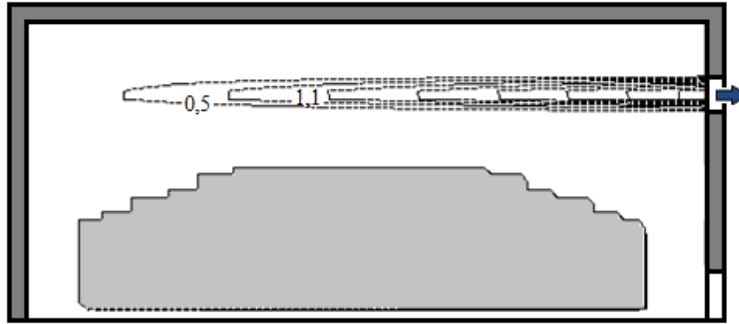


Рис. 7 – Распределение продольной составляющей скорости (вытяжка «справа»)

К еще более кардинальным изменениям в картине течения приводит постановка вытяжного вентилятора «слева» (рис. 9). В данном случае формируется горизонтальный продольный поток отрицательной направленности в соответствии с заданным режимом работы вентилятора. Вытяжка не только препятствует всплытию водорода и накоплению его у потолка, но и располагается ближе всего к источнику примеси, что и объясняет еще большую эффективность вентиляции (рис. 10).

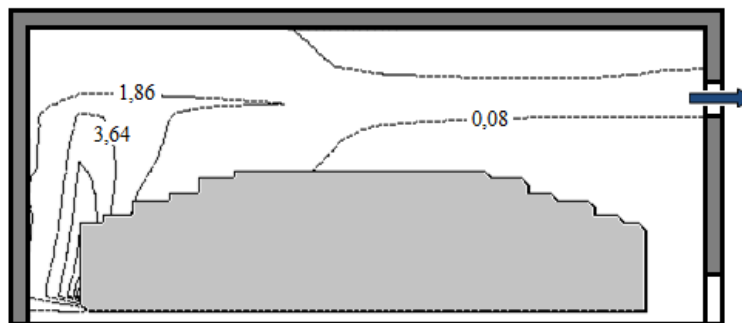


Рис. 8 – Распределение массовой концентрации водорода (вытяжка «справа»)

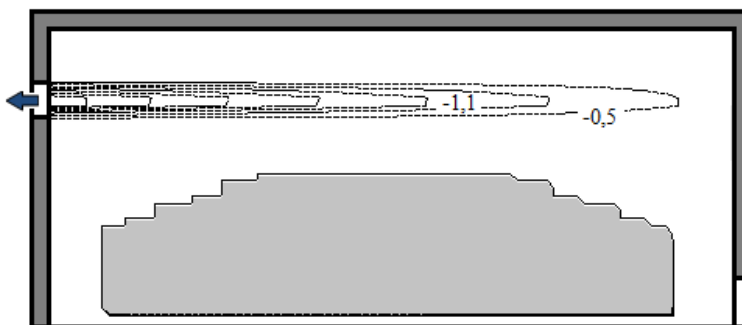
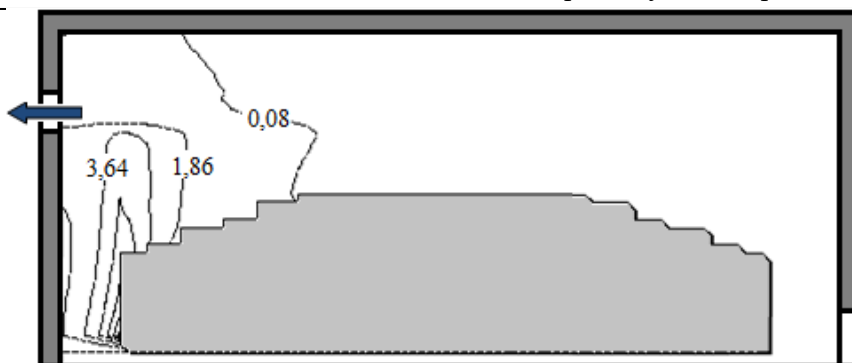


Рис. 9 – Распределение продольной составляющей скорости (вытяжка «слева»)



**Рис. 10 – Распределение массовой концентрации водорода (вытяжка «слева»)**

Суммарная масса взрывоопасного водорода снижается в еще большей степени. Объем области, которая может воспламениться, также уменьшается (табл. 2). Эти параметры являются определяющими при оценке мощности потенциального взрыва, интенсивности взрывной волны и уровня термической нагрузки на конструкции, находящиеся в помещении гаража.

**Выводы.** Предложен математический метод учета движения в общем случае химически реагирующей смеси газов в помещении, оборудованном средствами вентиляции. Разработанная на его базе компьютерная система может использоваться в качестве инженерного инструмента для анализа пространственного распределения взрывоопасной примеси в помещениях и прогноза последствий ее взрыва. Метод позволяет провести оценку уровня пожаровзрывоопасности помещения на основе таких показателей, как суммарная масса горючей примеси, находящейся в пределах воспламеняемости, а также объем помещения, который она занимает.

Получены результаты расчетов различных вариантов естественной и принудительной вентиляции гаражного помещения. Показано, что уровень пожаровзрывоопасности помещения сильно зависит от скорости вентиляции и места расположения вентиляционных проемов в здании.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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.

2. Батурич, В.В. Основы промышленной вентиляции [Текст] / В.В. Батурич – М: Профиздат, 1990. – 450 с.
3. Safety and Security Analysis [Текст]: Investigative Report by NASA on Proposed EPA Hydrogen-Powered Vehicle Fueling Station. Assessment and Standards Division Office of Transportation and Air Quality U.S. Environment Protection Agency, EPA420-R-04-016 October 2004. – 45 p.
4. Шенг Дж. С. Обзор численных методов решения уравнений Навье-Стокса для течений сжимаемого газа // Аэрокосмическая техника.– 1986.– №2.– С. 65-92.
5. CFD simulation on diffusion of leaked hydrogen caused by vehicle accident in tunnels [Электронный ресурс] / S. Mukai, J. Suzuki, H. Mitsuishi, K. Oyakawa, and S. Watanabe // 1-st International Conference on Hydrogen Safety. – Pisa (Italy). – 2005. – 10 p. – Режим доступа: <http://conference.ing.unipi.it/ichs2005/Papers/320033.pdf>. – 3.02.2013 г.
6. 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 г.
7. Barley, C.D. Analysis of buoyancy-driven ventilation of hydrogen from buildings [Электронный ресурс] / C.D. Barley, K. Gawlik, J. Ohi, and R. Hewett // 2 International Conference on Hydrogen Safety. – San Sebastian (Spain). – 2007. – 14 p. – Режим доступа: <http://conference.ing.unipi.it/ichs2007/Papers/3.1.68.pdf>. – 3.02.2013 г.
8. Bedard-Tremblay, L. Simulation of detonation after an accidental hydrogen release in enclosed environments [Электронный ресурс] / L. Bedard-Tremblay, L. Fang, L. Bauwens, P.H.E. Finstad, Z. Cheng and A. V. Tchouvelev // 2 International Conference on Hydrogen Safety. – San Sebastian (Spain). – 2007. – 12 p. – Режим доступа: <http://conference.ing.unipi.it/ichs2007/Papers/1.3.95.pdf>. – 3.02.2013 г.
9. Zhang, J. Numerical studies of dispersion and flammable volume of hydrogen in enclosures [Электронный ресурс] / J. Zhang, J. Hereid, M. Hagen, D. Bakirtzis, M.A. Delichatsios, and A.G.

- Venetsanos // 2 International Conference on Hydrogen Safety. – San Sebastian (Spain). – 2007. – 12 p. – Режим доступа: <http://conference.ing.unipi.it/ichs2007/Papers/6.1.00.pdf>. – 3.02.2013 г.
10. Venetsanos, A.G. An inter-comparison exercise on the capabilities of CFD models to predict the short and long term distribution and mixing of hydrogen in a garage [Электронный ресурс] / A.G. Venetsanos, E. Papanikolaou, M. Delichatsios, J. Garcia, O.R. Hansen, M. Heitsch, A. Huser, W. Jahn, T. Jordan, J-M. Lacomme, H.S. Ledin, D. Makarov, P. Middha, E. Studer, A.V. Tchouvelev, A. Teodorczyk, F. Verbecke, M.M. van der Voort // 2 International Conference on Hydrogen Safety. – San Sebastian (Spain). – 2007. – 12 p. – Режим доступа: <http://conference.ing.unipi.it/ichs2007/Papers/1.1.111.pdf>. – 3.02.2013 г.
11. Lowesmith, B.J. Gas build-up in a domestic property following releases of methane/hydrogen mixtures [Электронный ресурс] / B.J. Lowesmith, G. Hankinson, C. Spataru and M. Stobbart // 2 International Conference on Hydrogen Safety. – San Sebastian (Spain). – 2007. – 13 p. – Режим доступа: <http://conference.ing.unipi.it/ichs2007/Papers/1.1.62.pdf>. – 3.02.2013 г.
12. Ishimoto, Y. Study of hydrogen diffusion and deflagration in a closed system [Электронный ресурс] / Y. Ishimoto, E. Merilo, M. Groethe, S. Chiba, H. Iwabuchi, K. Sakata // 2 International Conference on Hydrogen Safety. – San Sebastian (Spain). – 2007. – 13 p. – Режим доступа: <http://conference.ing.unipi.it/ichs2007/Papers/1.1.83.pdf>. – 3.02.2013 г.
13. Gupta, S. Hydrogen related risks within a private garage: concentration measurements in a realistic full scale experimental facility [Электронный ресурс] / S. Gupta, J. Brinster, E. Studer, I. Tkatschenko // 2 International Conference on Hydrogen Safety. – San Sebastian (Spain). – 2007. – 12 p. – Режим доступа: <http://conference.ing.unipi.it/ichs2007/Papers/1.1.51.pdf>. – 3.02.2013 г.
14. Papanikolaou, E. A. CFD simulations of hydrogen release and dispersion inside the storage room of a hydrogen refueling station using the ADREA-HF code [Электронный ресурс] / E. A. Papanikolaou, A. G. Venetsanos // 2 International Conference on Hydrogen Safety. – San Sebastian (Spain). – 2007. – 12 p. – Ре-

жим доступу:

<http://conference.ing.unipi.it/ichs2007/Papers/1.1.112.pdf>. – 3.02.2013 г.

15. 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.
16. Numerical Modeling of Hydrogen Release, Mixture and Dispersion in Atmosphere [Електронний ресурс] / Е.А. Granovskiy, V.A. Lyfar, Yu.A. Skob, M.L. Ugryumov // 1-st International Conference on Hydrogen Safety. – Pisa (Italy). – 2005. – 11 p. – Режим доступу: <http://conference.ing.unipi.it/ichs2005/Papers/110021.pdf>. – 3.02.2013 г.
17. 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.

Скоб Ю.О., Вамболь С.О., Угрюмов М.Л., Грановський Э.А., Лифар В.О.

#### **Моделювання розсіювання газу у вентильованих приміщеннях**

Розроблено метод урахування вентиляції в процесі руху газової суміші в приміщенні гаража. Метод ґрунтується на постановці додаткових граничних умов на поверхнях, прилеглих до вентиляційних каналів, і вирішенні задачі розпаду розриву для забезпечення заданого потоку вентиляції. Отримані параметри течії використовуються при інтегруванні рівнянь руху газової суміші методом С.К. Годунова.

**Ключові слова:** примусова і природна вентиляція, пожежна безпека, розсіювання газової домішки, математичне моделювання

Skob Yu.O., Vambol S.O., Ugryumov M.L., Granovskii E.A., Lyfar V.O.

#### **Dispersion modeling of gas in a ventilated room**

A method accounting ventilation in the motion of the gas mixture in the garage are developed. The method is based on setting additional boundary conditions on the surfaces adjacent to the ventilation ducts and solving the problem of the discontinuity disintegration for a given ventilation flow. The resulting flow parameters are used to solve the equations of gas mixture motion by means of Godunov scheme.

**Key words:** forced and natural ventilation, fire safety, gas admixtures dispersion, mathematical model