

МРНТИ 27.35.21

А.Д. Иманалиева<sup>1</sup> (orcid-0000-0003-4082-017X) – основной автор,  
А.А. Исахов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Магистрант, <sup>2</sup>PhD, профессор

<sup>1</sup>Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: <sup>1</sup>Imanalieva.almira@mail.ru, <sup>2</sup>alibek.issakhov@gmail.com

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ГАЗОВ ДЛЯ МОДЕЛИ ГОРОДСКОГО КАНЬОНА С НЕПРЕРЫВНЫМИ БАРЬЕРАМИ

**Аннотация.** В данной работе исследовали характер распространения различных загрязняющих веществ для трехмерной модели городского каньона с непрерывными барьерами разной высоты. Описали численную реализацию тестовой трехмерной модели городского каньона, результаты которой сравниваются с экспериментальными данными и расчетами других авторов. Математическая модель городского каньона, представленная в трехмерном пространстве, состоит из системы уравнений Навье-Стокса. В данной модели распространение загрязняющих газов описывается усредненными по времени коэффициентами Рейнольдса уравнения Навье-Стокса. Моделирование турбулентного рассеяния химически активных загрязняющих веществ в воздухе, которые образуют крупные вихри. Для реализации модели уличного каньона была выбрана оптимальная турбулентная модель RNG k-epsilon. Модель городского каньона с использованием сплошных барьеров разной высоты изучает распространение потока четырех токсичных газов: этилен (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), оксид азота II (NO), динитроген (N<sub>2</sub>) и диоксид углерода (CO<sub>2</sub>), нарушающие целостность воздушного потока, характер которого является циркулярным и отрицательно влияющим на окружающую среду и здоровье человека.

**Ключевые слова:** городской уличный каньон, турбулентная модель k-epsilon RNG, загрязнение атмосферного воздуха, изменение концентрации, распространение загрязняющих веществ.

**Введение.** На сегодняшний день чистота воздуха является важным аспектом для существования многих живых существ на планете. Особенно в крупных городах качество воздуха ухудшается с каждым днем и становится серьезной проблемой. Причиной ухудшения качества воздуха является большое количество различного транспорта и промышленных предприятий, а так же рост населения. В воздухе могут находиться твердые частицы, которые портят качество воздуха. Данные частицы оказывают негативное влияние на здоровье человека (Chang 2012,[1]), благодаря которым в организме может возникнуть ряд последствий, например: сердечно-сосудистые и респираторные заболевания, аллергии, а также проблемы, связанные с ограниченной видимостью. Для построения модели взяли область уличного каньона. Городской уличный каньон представляет с собой область между двумя зданиями, которая формируется в процессе урбанизации. В связи с активным ростом городского населения, увеличивается количество зданий и этажей, а пространство между зданиями уменьшается, образуя уличный каньон. В данном каньоне и происходит загрязнение воздуха от выхлопных газов из транспорта, внезапных пожаров и бытовые загрязнители такие как сжигание топлива в жилищах. Для того чтобы минимизировать концентрацию загрязнения городского уличного

каньона, необходимо понимать каким образом происходит загрязнение, определить источник загрязнения и сделать прогноз на дальнейшее поведение загрязнения воздуха. Для реализации данной задачи используется турбулентная модель k-epsilon RNG. Расчеты данной модели приближены к экспериментальным результатам тестовой задачи. Чтобы построить модель уличного каньона применяем усредненные по времени коэффициенты Рейнольдса уравнения Навье-Стокса. В качестве загрязняющих веществ, оказывающие негативное влияние окружающей среду, изучаются следующие вещества: диоксид углерода (CO<sub>2</sub>), этилен (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), динитроген (N<sub>2</sub>), оксид азота (NO). Математические модели необходимы для оптимизации процесса оценки качества воздуха, чтобы в дальнейшем изменять условия в модели и проводить тестирования. Работу (Kikumoto and Ooka, 2012, [2]) взяли за основу, в данном исследовании изучаются область рассеивания активных загрязнителей воздуха в уличном каньоне.

**Условия и методы исследований.** Для моделирования трехмерной численной модели распространения концентрации в городском каньоне с непрерывными барьерами были использованы усредненные по времени уравнения Рейнольдса. Важнейшим параметром для моделирования является геометрия — отношение высоты здания к ширине между зданиями, соотношение сторон улиц так же имеют роль в построении модели. Изучение характеристики потока и рассеивания воздушного потока в уличных каньонах с различными соотношениями было изучено в статье (Lee and Park, 1994, [4]; Siniet al. 1996, [5]).

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i u_j}{\partial x_j} = \frac{\partial (-\overline{\rho u_i' u_j'})}{\partial x_j} - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) + f \quad (2)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial u_j C}{\partial x_j} = \frac{\partial (-\overline{u_j' C'})}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \gamma \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) \quad (3)$$

где:  $u_i$  — компоненты скорости;  $P$  — давление потока;  $\rho$  — плотность;  $T$  — температура;  $\gamma$  — коэффициент молекулярной диффузии;  $f$  — средняя внешняя сила тела;  $\mu$  — динамическая вязкость;  $\overline{u_i' u_j'}$  и  $\overline{u_j' C'}$  — усредненные по Рейнольдсу напряжения скорости и турбулентные тепловые потоки. Коэффициент диффузии был установлен как:  $\gamma = \frac{\nu}{Sc}$  и  $\gamma_s = \frac{\nu}{Sc_s}$ ;  $Sc$  и  $Sc_s$  — число Шмидта и турбулентное число Шмидта. Необходимо учитывать силу гравитации которое действует на тело  $f = \rho g$ ,  $g$  — ускорение силы тяжести.

**Турбулентная модель.** Для решения нам так же необходима турбулентная модель, которая приводит к предположению о существовании средней скорости притока и среднего отклонения:  $\mathbf{u} = \bar{\mathbf{u}} + \mathbf{u}'$ . В следствии упрощения уравнений Навье-Стокса появляются произведения средних отклонений  $\overline{u_i' u_j'}$ . В стандартной k-epsilon модели вводятся два понятия — это диссипация  $\varepsilon$  и образование  $P$ . Диссипация представляет собой рассеивание крупных вихрей на более малые. Данный процесс приводит к усреднению течения и уменьшению турбулентности. Физический смысл турбулентности — это формирование новых вихрей, которые образуют турбулентность (Белов и Исаев, 2001, [6]). Стандартная k-epsilon модель является экспериментальной

результаты которой были получены опытным путем (Коркодинов, 2013, [7]). Турбулентная модель k-epsilon RNG полученная при помощи теории ренормализованных групп, имеет схожести со стандартной k-эпсилон моделью, но включает в себя некоторые улучшения.

Для турбулентной модели k-эпсилон RNG:

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i k)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \rho \varepsilon \quad (4)$$

$$\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i \varepsilon)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P_k - C_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon) \quad (5)$$

$$C_{\varepsilon 2}^* = C_{\varepsilon 2} + \frac{C_\mu \eta^3 (1 - \frac{\eta}{\eta_0})}{1 + \beta \eta^3}; \eta = \frac{S k}{\varepsilon}; S = (2 S_{ij} S_{ij})^{\frac{1}{2}}$$

$k$  – турбулентная кинетическая энергия;  $\varepsilon$  – турбулентная диссипация;  $P_k$  – турбулентность, вызванная вязкостью.

$$P_k = \mu_t \left( \frac{\partial u_j}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_j}{\partial x_j} - \frac{2}{3} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \left( 3 \mu_t \frac{\partial u_k}{\partial x_k} + \rho k \right)$$

где  $P_{kb} = -\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \beta g_i \frac{\partial T}{\partial x_i}$ ;  $P_{\varepsilon b} = C_3 \max(0, P_{kb})$  – выталкивающая сила;  $\beta$  – коэффициент тепловое расширение.

Турбулентная вязкость рассчитывается так же, как и для стандартной модели k-эпсилон. Для RNG:  $C_{1\varepsilon} = 1.42$ ,  $C_{2\varepsilon} = 1.68$ ,  $C_\mu = 0.0845$ ,  $\beta = 0.012$ ,  $\eta_0 = 4.38$ ,  $\sigma_k = 1$ ,  $\sigma_\varepsilon = 1.3$ . Значения всех констант получены явно в процедуре RNG.

**Численный алгоритм.** Для численного моделирования системы уравнений Рейнольдса, скалярного уравнения переноса был использован алгоритм SIMPLE. Применяем алгоритм SIMPLE Патанкара-Сполдинга для нестационарного случая, который можно представить в виде следующего алгоритма:

- 1) Представления начального поля давления  $P^0$  и задаем  $P^* = P^0, t = 0$ .
- 2) Определения начального поля скорости  $u^0, v^0$ .
- 3) Решение уравнений движения для получения  $u^*, v^*$ .
- 4) Решение уравнения для  $P'$  и расчет  $p$  путем добавления к  $P^*$ .
- 5) Нахождение  $u, v$  с помощью формул для поправки скорости  $u, v$ .
- 6) В случае, если  $|P'|$  мало во всех узлах расчетной сетки, то полагаем  $P^0 = P, u^0 = u, v^0 = v, t = t + \Delta t$ . В противном случае используем найденное  $P$  как  $P^*$  и переходим к этапу пункт 3.

- 7) Если  $t < T_{max}$ , то имеем возврат к пункту 3.

Процедура SIMPLE необходима для решения задач расчета течений несжимаемой жидкости. Однако в некоторых случаях скорость сходимости оказывается недостаточно быстрой. Это связано с тем, что уравнение для поправки давления дает завышенные значения. Поэтому уравнение  $P = P_0 + P'$  заменяют уравнением  $P = P_0 + \alpha_P P'$ , где  $\alpha_P$  – параметр нижней релаксации. Поскольку сразу невозможно определить оптимальное значение параметра нижней релаксации, процедуру SIMPLE модифицируют с целью

увеличения скорости сходимости. Такая модифицированная процедура получила название SIMPLER (SIMPLE revised) (Патанкар,1984,[8]; Дурста ,1982,[9]). Для численной реализации трехмерной модели городского каньона рассмотрим область моделирования, которая показана на рисунке 1. В данной работе применили идеализированный вариант селитебной территории. Длина верхней части уличного каньона составляет 2.2 м, ширина 0.3 м и высота 0.2 м, нижняя часть имеет длину 1.0 м, высоту 1.0 м, ширину 0.3 м. В центральной части на дне каньона расположен линейный источник загрязнения с размерами: 0.01 м и 0.26 м, соответственно. В качестве загрязнителя воздуха в данной тестовой модели рассматривается этилен  $C_2H_4$ . Воздушный поток направлен перпендикулярно области городского каньона и действует в верхней части слева направо.

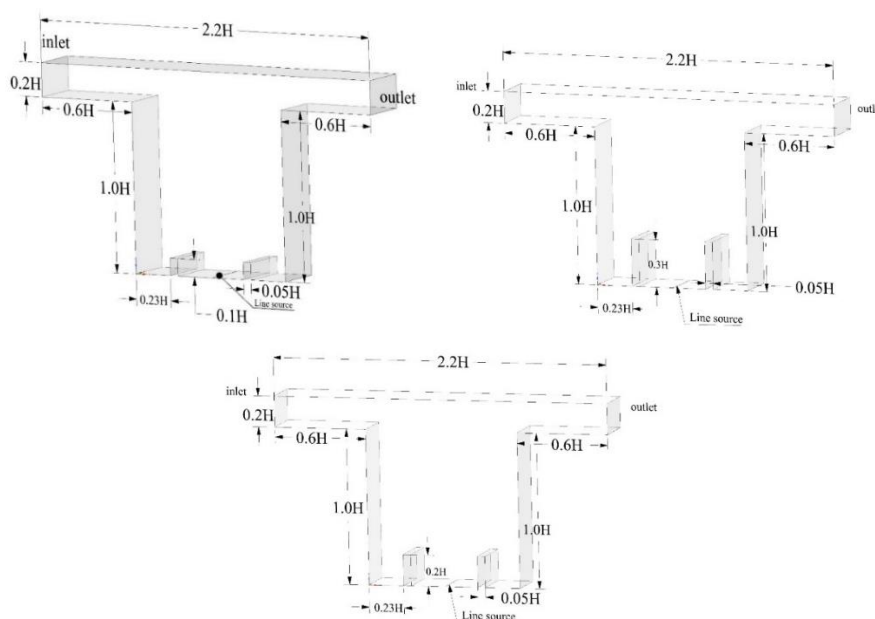


Рис. 1. Схема непрерывных барьеров различной высоты (0,1 м, 0,2 м и 0,3 м) для модели городского каньона

Значение скорости воздушного потока принимается равным  $V_{inlet} = 1.0$  м/с и скорость загрязняющего вещества, выходящего из линейного источника, составляет  $V_{SourceLine} = 1.923 \times 10^{-2}$  м/с, при постоянной температуре 300 К. Турбулентность потока ветра, действующего в верхней области, составляет 4%, в то время как, для линейного источника загрязнения равняется 2%. Кинематическая вязкость воздуха для исследуемой задачи равна  $\nu = 1.5 \times 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с. Молекулярный коэффициент диффузии вычисляется по формуле:  $\gamma_s = \frac{\nu}{Sc_s}$  и задается как  $\gamma = 1.5 \times 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с, где  $\gamma = \frac{\nu}{Sc}$ , число Шмидта и турбулентное число Шмидта обозначим как  $Sc = 1$ ,  $Sc_s = 0.5$ . Общее время расчета принимается за 3 мин. Численные результаты для расчета концентрации и скорости нормированы в соответствии с формулами:  $U = \frac{u}{U_n}$ ;  $C = \frac{c}{C_n}$ ;  $C_n = \frac{Q_s}{U_n H L}$ , где  $U_n$  - средняя скорость в  $(x, z) = (0.5 \text{ м}, 1.1 \text{ м})$ ,  $C_n$  - контрольная концентрация,  $Q_s$  - скорость излучения в источнике,  $L$  - расстояние от точки измерения в направлении  $y$ , что равно 0.3 м,  $H = 1$  м.

**Результаты исследований.** Полученные численные результаты модели, в ходе реализации трехмерной модели уличного каньона, сравнивались с экспериментальными данными (Kikumoto и Ooka, 2018, [3]). Численное решение является трудоемким, в связи с тем, что используется достаточно большая вычислительная сетка размером 3 018 864 элементов, в которой минимальный размер ячеек равен  $1.258 \times 10^{-3}$  м и максимальный размер ячеек составляет 0,1258 м. Дополнение в виде сплошных преград может значительно снизить уровень концентрации загрязняющих веществ в городском каньоне, так как, барьеры задерживают загрязненный воздух. Анализируя данную модель можно сделать вывод, что наличие сплошных барьеров не влияет на образование циркулярного потока в нижней полости уличного каньона, но влияет на значение концентрации загрязняющих веществ. В зависимости от высоты непрерывного барьера, изменяется скорость образованного потока. Полученные численные расчеты трехмерной модели, наглядно показанные на рисунке 2, сравниваются с экспериментальными данными (Kikumoto and Ooka, 2018, [3]). Датчик, расположенный на оси  $x=0.5H$ , показывает среднее значение профиля поля скорости, в соответствии с рисунком 2.

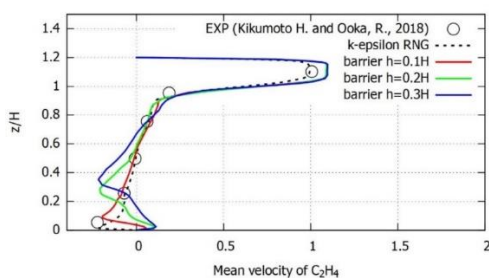
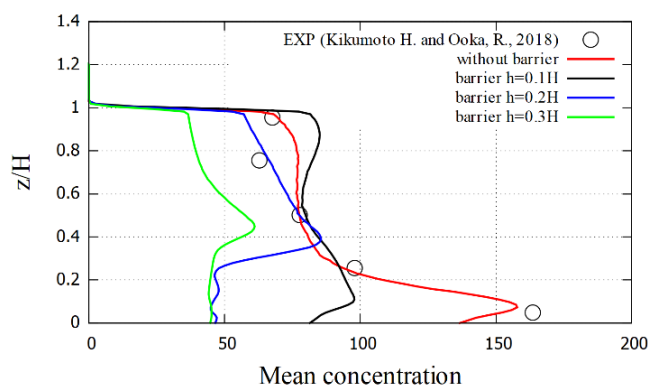
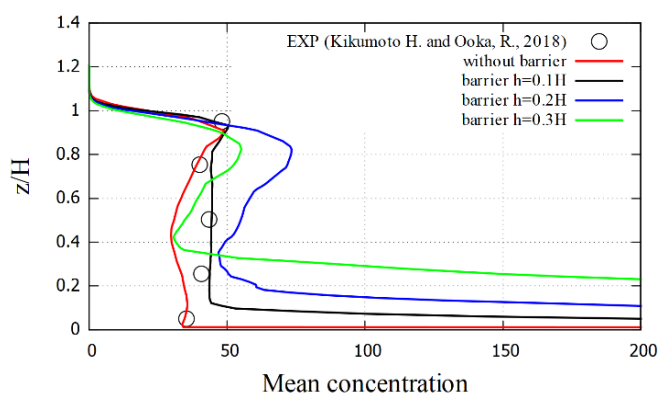


Рис. 2. Среднее значение профилей горизонтальной скорости при  $U/x=0.5H$

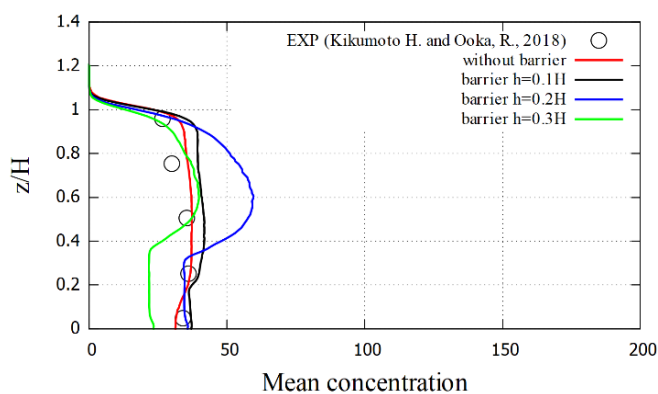
Изучив профили скорости для математической модели уличного каньона с разными барьерами по высоте, можно сделать вывод, что полученные результаты имеют схожесть с данными эксперимента. Следующим важным этапом, является исследование распространения концентрации на значение которого влияют сплошные барьеры находящиеся по обе стороны от источника загрязнения. Расстояние между непрерывными преградами в нижней части каньона составляет 0.54 м. В качестве загрязнителя воздуха исследуется этилен ( $C_2H_4$ ). Профили изменения скорости и концентрации, которые измеряются вдоль плоскости  $y=0.15$  м и по оси  $x$  в трех точках:  $x=0.05H$ ,  $x=0.5H$ ,  $x=0.95H$ .



а) Средняя концентрация для линии 0.05H



б) Средняя концентрация для линии 0.5H



в) Средняя концентрация для линии 0.95H

Рис. 3. Распределения средней концентрации для разных высот непрерывного барьера в поперечных сечениях  $x = 0.05H$ ,  $x = 0.5H$ ,  $x = 0.95H$

На рисунке 3 показана область распределения концентрации для различных высот непрерывных барьеров (0.1H, 0.2H, 0.3H). Рассмотрев сравнительные графики распространения концентрации для разных высот травяных преград в сечении  $x=0.05H$ , следует отметить, что при использовании барьера высотой 0.1H, величина загрязнения уменьшается в 1.5 раза в отличие от модели городского каньона без учета барьеров. Применение сплошных барьеров высотой 0.3 м значительно уменьшает

распространение концентрации более чем в 3 раза по сравнению с трехмерной моделью уличного каньона без травяных барьеров.

На основе модели городского каньона с разными барьерами по высоте равными  $0.1H$ ,  $0.2H$  и  $0.3H$ , которая исследует влияние распространения концентрации этилена ( $C_2H_4$ ), рассмотрим поведение трех газов, оказывающих токсичное влияние на организм человека: оксид азота II ( $NO$ ), динитроген ( $N_2$ ) и диоксид углерода ( $CO_2$ ).

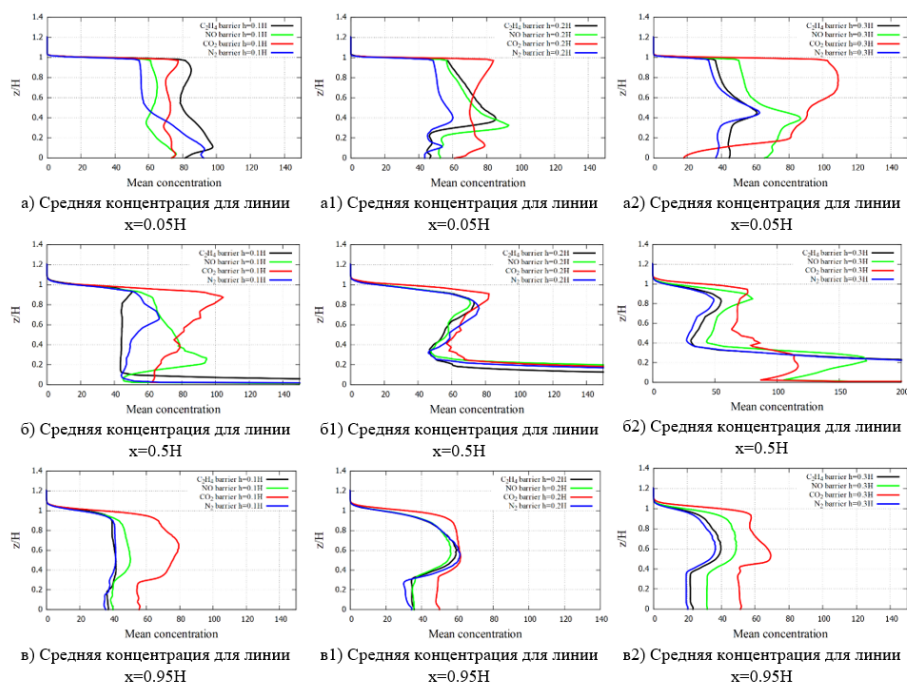


Рис. 4. Распределение средней концентрации для непрерывных барьеров  $0.1H, 0.2H, 0.3H$  в поперечных сечениях  $x=0.05H, x=0.5H, x=0.95H$ .

Изучая сравнительные графики на рисунке 4, в которых приведены результаты распространения концентрации четырех токсичных газов ( $C_2H_4, NO, CO_2, N_2$ ) в различных сечениях ( $x=0.05H, x=0.5H, x=0.95H$ ), можно наблюдать, характер поведения загрязняющих веществ в уличном каньоне.

**Обсуждение результатов исследований.** В ходе исследования математической модели городского каньона с непрерывными барьерами различной высоты, значительное загрязнение можно наблюдать области между двумя непрерывными барьерами. Добавленные сплошные барьеры по обе стороны от линейного источника загрязнения, оказали значительное влияние на распространение концентрации и способствовали сохранению чистого воздушного потока в пространстве между преградами и стенами зданий. Следует отметить, что распределение концентрации практически имеет минимальное значение. Уменьшение распространения концентрации связано с перемещением смешанного потока по часовой стрелке, которое образовано циркуляционным движением внутри полости уличного каньона. Исходя из полученных результатов, а также при анализе данных можно сделать вывод, что с увеличением высоты травяной преграды величина распространения загрязняющих веществ в поперечном сечении  $x=0.05H$  м



уменьшается, однако, при сечении равном  $x=0.5$  м значение изменения концентрации, наоборот, увеличивается, а распространение концентрации в поперечном сечении  $x=0.95$  м остается практически неизменной. Полученные численные результаты, доказывают, что использование барьеров большей высоты, лучше влияет на ситуацию в нижней части каньона. На основе модели городского каньона с разными по высоте травяными барьерами (0.1Н, 0.2Н и 0.3Н), которая исследует влияние распространения концентрации этилена ( $C_2H_4$ ), рассмотрели поведение трех газов, оказывающих токсичное влияние на организм человека: оксид азота II ( $NO$ ), динитроген ( $N_2$ ) и диоксид углерода ( $CO_2$ ). и для правильного анализа необходимо ознакомиться с таблицей 1, в которой указана молярная масса и плотность веществ.

Таблица 1

## Сведения рассматриваемых загрязняющих веществ

Название	Этилен	Оксид азота(II)	Азот	Диоксид углерода
Химическая формула	$C_2H_4$	NO	N	$CO_2$
Молярная масса	28,05 г/моль	30,0061 г/моль	14,00728 г/моль	44,01 г/моль
Плотность	1,178 кг/м <sup>3</sup>	1,3402 кг/м <sup>3</sup>	1,1649 кг/м <sup>3</sup>	1,9768 кг/м <sup>3</sup>

Анализируя таблицу 1, можно сделать вывод, что диоксид углерода  $CO_2$  является самым тяжелым газом, поэтому образуется осадок возле линейного источника загрязнения между барьерами разной высоты. Незначительная плотность азота подтверждает малые изменения значения концентрации на сравнительных графиках полученные при решении.

**Заключение.** В данной работе рассматривается характер влияния и изменения концентрации при отсутствии и существовании барьеров той или иной высоты. Отмечено, что в нижней части каньона наблюдается благоприятная ситуация, в виде чистого воздушного потока, аналогично при высоте непрерывного барьера равной 0.3Н. Однако, чрезмерно большое сооружение является экономически невыгодной конструкцией. По этой причине, оптимальной высотой барьера для построения модели городского каньона является 0.2Н. На основе модели городского каньона с разными по высоте травяными барьерами (0.1Н, 0.2Н и 0.3Н), которая исследует влияние распространения концентрации этилена ( $C_2H_4$ ), рассмотрели поведение трех газов, оказывающих токсичное влияние на организм человека: оксид азота II ( $NO$ ), динитроген ( $N_2$ ) и диоксид углерода ( $CO_2$ ). можно сделать вывод, что диоксид углерода  $CO_2$  является самым тяжелым газом, поэтому образуется осадок возле линейного источника загрязнения между барьерами разной высоты. Незначительная плотность азота подтверждает малые изменения значения концентрации на сравнительных графиках полученные при решении. Изученная модель городского каньона в данной работе может применяться в будущих исследованиях, в которых будут использоваться городские районы наиболее приближенные к реальным условиям, учитывающие все детали и действительный масштаб.

## Список литературы

1. Chang Y (2012) China needs a tighter PM2.5 limit and a change in priorities. Environ Sci Technol 46(13):7069–7070.
2. Kikumoto, H., and Ooka, R. (2012) A numerical study of air pollutant dispersion with bimolecular chemical reactions in an urban street canyon using large-eddy simulation



3. Kikumoto, H., and Ooka, R. (2018). Large-eddy simulation of pollutant dispersion in a cavity at fine grid resolutions. *Building and Environment*, 127, 127–137. Doi:10.1016/j.buildenv.2017.11.005
4. Lee, I. Y., and H. M. Park, 1994: Parameterization of the pollutant transport and dispersion in urban street canyons. *Atmos. Environ*, 28, 2343–2349.
5. Sini, J.-F., S. Anquetin, and P. G. Mestayer, 1996: Pollutant dispersion and thermal effects in urban street canyons. *Atmos. Environ.*, 30, 2659–2677.
6. Белов И.А. Исаев С.А. Моделирование турбулентных течений: учеб. пособие / Балт. Гос. Ун-т.- спб., 2001.-108с.
7. Коркодинов Я.А. Обзор семейства k-ε моделей для моделирования турбулентности / Перм.нац.исслед. политехнич. ун-т., 2013. - 5 с.
8. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости/ пер с англ. - М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.

*Материал поступил в редакцию 09.05.22.*

**А.Д. Иманалиева<sup>1</sup>, А.А. Исахов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

#### **ҮЗДІКСІЗ КЕДЕРГІЛЕРІ БАР ҚАЛАЛЫҚ КАНЬОН МОДЕЛІ ҮШІН ЛАСТАУШЫ ГАЗДАРДЫҢ ТАРАЛУЫН МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ**

**Аннотация.** Бұл жұмыста әртүрлі биіктіктегі үздіксіз кедергілері бар қалалық каньонның үш өлшемді моделі үшін әртүрлі ластаушы заттардың таралу сипаты зерттелді. Олар қалалық каньонның үш өлшемді сынақ моделінің сандық орындалуын сипаттады, оның нәтижелері эксперименттік мәліметтермен және басқа авторлардың есептеулерімен салыстырылды. Үш өлшемді кеңістікте ұсынылған қалалық каньонның математикалық моделі Навье-Стокс теңдеулер жүйесінен тұрады. Бұл модельде ластаушы газдарды тарату Навье-Стокс теңдеуінің Рейнольдс уақыт бойынша орташа коэффициенттерімен сипатталады. Үлкен құйындарды құрайтын ауадағы химиялық белсенді ластаушы заттардың турбулентті шашырауын модельдеу. Көше каньонының моделін жүзеге асыру үшін RNG k-epsilon оңтайлы турбулентті моделі таңдалды. Әр түрлі биіктіктегі үздіксіз кедергілерді қолдана отырып, қалалық каньон моделі ауа ағынының тұтастығын бұзатын этилен (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), азот оксиді II (NO), динитроген (N<sub>2</sub>) және көмірқышқыл газы (CO<sub>2</sub>) сияқты төрт ұлы газ ағынының таралуын зерттейді. табиғаты дөңгелек және қоршаған орта мен адам денсаулығына теріс әсер етеді.

**Тірек сөздер:** қалалық көше каньоны, k-Epsilon RNG турбулентті моделі, ауаның ластануы, концентрацияның өзгеруі, ластаушы заттардың таралуы.

**A.D. Imanaliyeva<sup>1</sup>, A.A. Issakhov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

#### **MATHEMATICAL MODELING OF THE SPREAD OF POLLUTANT GASES FOR MODELS OF URBAN CANYONS WITH CONTINUOUS BARRIERS**

**Abstract.** In this paper, we consider cases of the spread of various pollutants for a three-dimensional urban model of a canyon with continuous barriers of various heights. The included implementation of tests of a three-dimensional urban canyon model is

described, the results of which are compared with experimental data and calculations of other authors. The influence of the height of continuous barriers on the concentration of toxic gases is studied:  $C_2H_4, NO, CO_2, N_2$ . The mathematical model of the urban canyon, represented in 3D space, consists of a system of Navier-Stokes equations, where the gas flows correspond to the time-averaged Reynolds coefficients of the Navier-Stokes equation. A large-scale eddy simulation of the turbulent release of active pollutants in the air has been carried out. To implement the street canyon model, the optimal turbulent RNG k-epsilon model was chosen. A model of an urban canyon using solid barriers of different intensity of distribution of the flow of four gases: ethylene ( $C_2H_4$ ), nitric oxide II (NO), dinitrogen ( $N_2$ ) and nitrogen dioxide ( $CO_2$ ), which breaking the atmospheric flow, the nature of which is circular, adversely affecting the environment and human health.

**Keywords:** urban street canyon, k-epsilon RNG turbulent model, atmospheric air pollution, change in manifestation, spread of pollutants.

#### References

1. Chang Y (2012) China needs a tighter PM2.5 limit and a change in priorities. *Environ Sci Technol* 46(13):7069–7070.
2. Kikumoto, H., and Ooka, R. (2012) A numerical study of air pollutant dispersion with bimolecular chemical reactions in an urban street canyon using large-eddy simulation
3. Kikumoto, H. and Ooka, R. (2018). Large-eddy simulation of pollutant dispersion in a cavity at fine grid resolutions. *Building and Environment*, 127, 127–137. Doi:10.1016/j.buildenv.2017.11.005
4. Lee, I. Y., and H. M. Park, 1994: Parameterization of the pollutant transport and dispersion in urban street canyons. *Atmos. Environ*, 28, 2343-2349.
5. Sini, J.-F., S. Anquetin, and P. G. Mestayer, 1996: Pollutant dispersion and thermal effects in urban street canyons. *Atmos. Environ.*, 30, 2659-2677.
6. Belov I.A., Isaev S.A. Modeling of turbulent flows: study guide / Balt. State. Univ.-SPb., 2001. - 108 p.
7. Korkodinov Ya.A. Overview of the family of k-models for modeling turbulence / Perm.Nats.Research Polytechnic Univ., 2013.-5p.
8. Patankar S. Numerical methods for solving problems of heat transfer and fluid dynamics / transl. from English. - Moscow: Energoatomizdat, 1984. -152 p.