

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 551.588.7

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.85.0.34

ВЛИЯНИЕ ЦВЕТА И ТИПА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ НА ПРОЯВЛЕНИЕ ЭФФЕКТА ТЕПЛООВОГО ОСТРОВА В БОЛЬШИХ ГОРОДАХ

Роговой А. С.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Проведены исследование влияния типа и цвета поверхности зданий и земли на проявление эффекта теплового острова в больших городах на примере городской застройки г. Харьков. Использование светлых поверхностей привело к уменьшению нагрева поверхностей и уменьшению температуры воздуха, что в свою очередь положительно влияет на основные характеристики микроклимата мегаполиса. Кроме того, проведены исследования влияния утепления зданий на температуру окружающего воздуха в зимний период.

Ключевые слова: микроклимат, мегаполис, эффект городского теплового острова, численные расчеты, математическая модель, теплоперенос.

Введение

В последние годы все большее внимание ученых привлекают проблемы мегаполисов: загрязнение воздуха, наличие повышения и понижения температуры воздуха в определенные часы, безопасность, транспорт и многие другие [1]. В большинстве случаев решение перечисленных проблем требует достаточно большого объема исследований как теоретического, так и экспериментального характера. Однако, очевидно, что экспериментальные исследования значительно ограничены вследствие невозможности экспериментальной проработки большинства предлагаемых решений для улучшения качества жизни населения и решения большинства проблем. Таким образом, особенное значение приобретает математическое моделирование процессов жизнедеятельности мегаполисов. Последние публикации многих ученых указывают на прямую корреляцию между повышением температуры в большом городе и увеличением смертности населения [2]. Это вынуждает, в первую очередь, решать задачу снижения проявления так называемого «эффекта городского теплового острова» [3, 4] для минимизации последствий повышенных температур на продолжительность жизни городского населения в условиях постоянной урбанизации и увеличения числа жителей в городах и мегаполисах по всему миру.

Анализ публикаций

Эффект теплового городского острова наряду с эффектом холодного городского

острова на сегодняшний день хорошо известен и зафиксирован уже в очень многих городах планеты [3–5]. Проявляется он в повышении температуры на 2–5 °С внутри мегаполиса по сравнению с окружающим мегаполис сельской местностью в течение нескольких часов в сутки [6]. Аналогично, эффект холодного городского острова проявляется в виде пониженной температуры по отношению к окружающей мегаполис сельской местности (обычно в дневное время) [4, 7].

Основными причинами возникновения теплового острова [6] обычно считают сложную геометрию улиц при наличии высотных домов, что не позволяет солнечному излучению поглощаться элементами зданий и вызывает сложный теплообмен; тепловые свойства материалов поверхности строений и дорог увеличивают сохранение тепла в мегаполисе; эффект «теплицы» в городе за счет более загрязненной атмосферы; уменьшение эффективного альбеда городской системы за счет множественного отражения солнечного излучения поверхностями зданий города; уменьшение поверхностей испарения в городе (водные поверхности, растения, деревья), что приводит к меньшей переработке тепловых потоков; уменьшение турбулентного переноса тепла с улиц.

Основными способами улучшения микроклимата больших городов являются увеличение зеленых насаждений и водоемов. Однако этот способ практически не применим вследствие отсутствия достаточного пространства в центрах мегаполисов для адекватного улучшения теплообмена [1, 8]. Поэтому од-

ним из наилучших способов нормализации условий проживания и снижения пиковых температур считают использование светлых цветов для покрытия крыш и использование светлых, «холодных» цветов для покрытия поверхностей дорог [8–10]. Для того чтобы оценить эффективность предложенных решений по изменению цветов покрытий, проведение экспериментальных исследований значительно ограничено из-за высокой стоимости замены большого числа поверхностей и невозможности смоделировать одинаковые внешние погодные условия. Экспериментальные исследования небольших участков могут приводить к искаженным результатам, не учитывающим множество факторов, например, влияние многоэтажной застройки. Поэтому на сегодняшний день наилучшим способом оценки проектных решений является предварительное математическое моделирование на основе решения нескольких моделей: модели адвекции, модели теплообмена с учетом солнечного излучения, модели течения воздуха на основе расчета осредненных уравнений Рейнольдса [11–16].

Цель и постановка задачи

Целью данной работы является математическое моделирование влияния типа и цвета поверхности зданий и земли на проявление эффекта теплового острова в больших городах. Использование светлых поверхностей должно привести к уменьшению нагрева поверхностей и уменьшению температуры воздуха, что в свою очередь положительно влияет на основные характеристики микроклимата мегаполиса.

Моделирование микроклимата

Для решения поставленной задачи использовалось специализированное программное обеспечение OpenFoam, предоставляемое со свободной лицензией, что позволяет его использовать в том числе и в коммерческих целях [17–19]. Исследования показали, что данный пакет дает возможность определить адекватные картины течения и прошел апробацию для данного класса задач. Математическая модель включала уравнения Навье-Стокса, осредненные по Рейнольдсу в нестационарной постановке, уравнение неразрывности, модель турбулентности SST, модель солнечного излучения на основе метода Монте-Карло, что позволило в качестве граничных условий задавать отражательную и излучательную способность материалов зданий, дорог и поверхностей.

Рассматриваемая область городской застройки находится в г. Харькове и имеет следующие координаты: 49°57' N и 36°21' E. Размер области 1,5 км на 1,0 км.

Граничные условия по температуре и по скорости ветра были заданы исходя из данных метеорологической станции, находящейся на расстоянии 4 км от рассматриваемого участка в Международном аэропорте г. Харькова. Эти данные приведены на рис. 1.

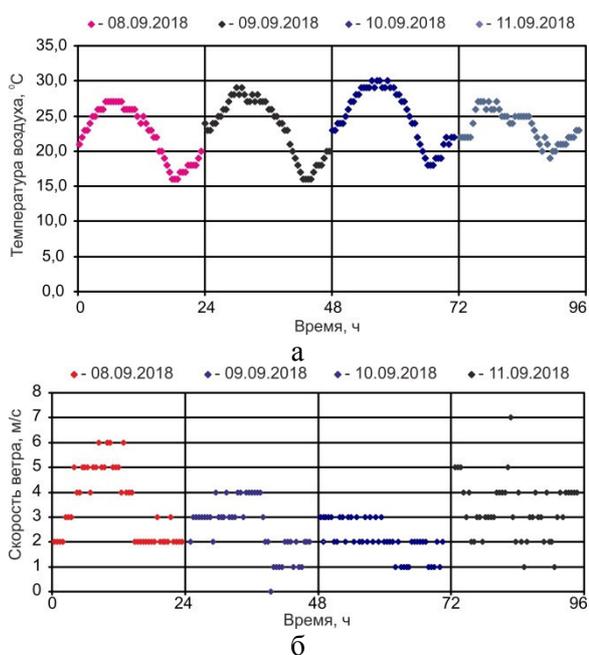


Рис. 1. Граничные условия для нестационарного CFD-расчета: а – температура воздуха; б – скорость ветра

В моделируемый отрезок времени ветер дул в направлении западо-северо-запада. Таким образом, скорость воздуха раскладывалась на две компоненты: $U = V_{air} \cos 22,5^\circ$ и $V = V_{air} \sin 22,5^\circ$. Значение V_{air} снималось с графика на рис. 1, б.

Солнечное излучение задавалось согласно схеме, показанной на рис. 2. При валидации компьютерной модели необходимо проводить экспериментальные исследования тепловых потоков: общего потока радиации всех волн, антропогенного теплового потока, турбулентного явного и скрытого тепловых потоков, накопленного теплового потока в заданном объеме (поглощение и излучение со всех поверхностей), адвективного теплового потока. Однако на начальном этапе можно воспользоваться данными, полученными в работе [18] для г. Лодзь (Польша). Этот город находится практически на одной широте с г. Харьков, и с достаточной достоверностью можно применить данные г. Лодзь по суммарному тепло-

вому потоку радиации всех волн и использовать его в качестве граничного условия в модели солнечного излучения с периодичностью 15 мин. Таким образом, учитывалось изменение интенсивности излучения по времени суток и расположению Солнца.

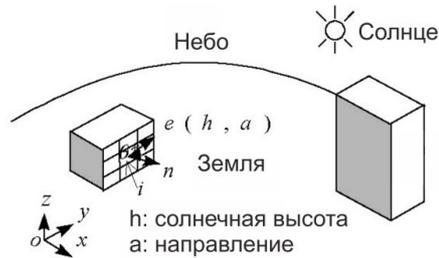


Рис. 2. Особенности моделирования солнечного излучения

Граничные условия по диффузному излучению и отражению задавались согласно табл. 1 [19].

Таблица 1 – Свойства конструкционных материалов

Материал	Отражательная способность	Излучательная способность
Обычный бетон	0,1	0,95
Обычный асфальт	0,06	0,95
Сланец	0,08	0,9
Трава и деревья	0,3	0,68
Почва	0,29	0,9
Вода	0,05	0,95
Песок	0,24	0,76
«Холодное мощение» камень серого цвета	0,52	0,97
«Холодное мощение» камень красного цвета	0,62	0,88
Травертин мраморный	0,55	0,9
Гранит	0,27	0,9
Серая плитка	0,25	0,9
Бежевая плитка	0,55	0,9

Численная модель. Течение воздуха рассматривалось как течение сжимаемой жидкости в нестационарной постановке. Некоторые задачи решены как стационарные. Критерий Куранта-Фридрихса-Леви при вычислениях принимал значение 0,5 для обеспечения устойчивости схемы. Использовался стандартный солвер пакета на основе метода контрольных объемов с алгоритмом по давлению, что позволяло прогнозировать течение сжи-

маемой жидкости. Вычисления продолжались до обеспечения двух условий: достижение установленных значений невязок и значения расходов переставали меняться, или переставали меняться амплитуды и частоты колебаний расхода. Установленные значения невязок составляли 10^{-5} . Значение y^+ не превышало 300. Начальные условия в расчетной области соответствуют равномерному потоку с параметрами, соответствующими тем, что установлены на входной границе. При решении нестационарной задачи сначала решалась задача в стационарной постановке, затем результаты решения этой задачи использовались в качестве начальных условий для нестационарной. В нестационарной постановке задача решалась с диапазоном времени с 8 ч утра моделируемых суток до 8 ч вечера. Решение находилось в несколько этапов с последовательным переходом к более мелким сеткам. На первом этапе использовалась сетка с 500 тыс. элементов. Затем производились расчеты на более мелких сетках с 1,2; 2,8 и 7,0 млн. элементов. Производилось сравнение по интегральным и кинематическим параметрам расчета: температура поверхности здания, скорость воздуха в заданной точке. Результаты расчета имели различие, не превышающее 5 %, в результате чего был сделан вывод о достаточности сеточного разбиения в 1,2 млн элементов для достижения точных и наиболее быстрых результатов.

Результаты исследований

На рис. 3 показано влияние альбедо поверхности земли на распределение температур. В одном случае выбрано альбедо асфальта, во втором – почвы и травы. Как показали расчеты, использование для покрытия земли асфальта увеличивает значение средней температуры поверхности не менее чем на $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким образом, основным способом борьбы с эффектом городского теплового острова является изменение альбедо асфальта, в частности использование специального «холодного» покрытия с малым альбедо (например, белое или серое покрытие, имеющие альбедо 0,69 и 0,42 соответственно) [10].

Кроме оценки влияния альбедо поверхностей на нагрев зданий, было проведено исследование влияния отопления и утепления сооружений в зимний период на нагрев окружающего воздуха. Температура воздуха равна $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Граничные условия по скорости воздуха были следующие: $U = -5,5\text{ м/с}$; $V = -2,3\text{ м/с}$, что соответствует направлению ветра С-3-С.

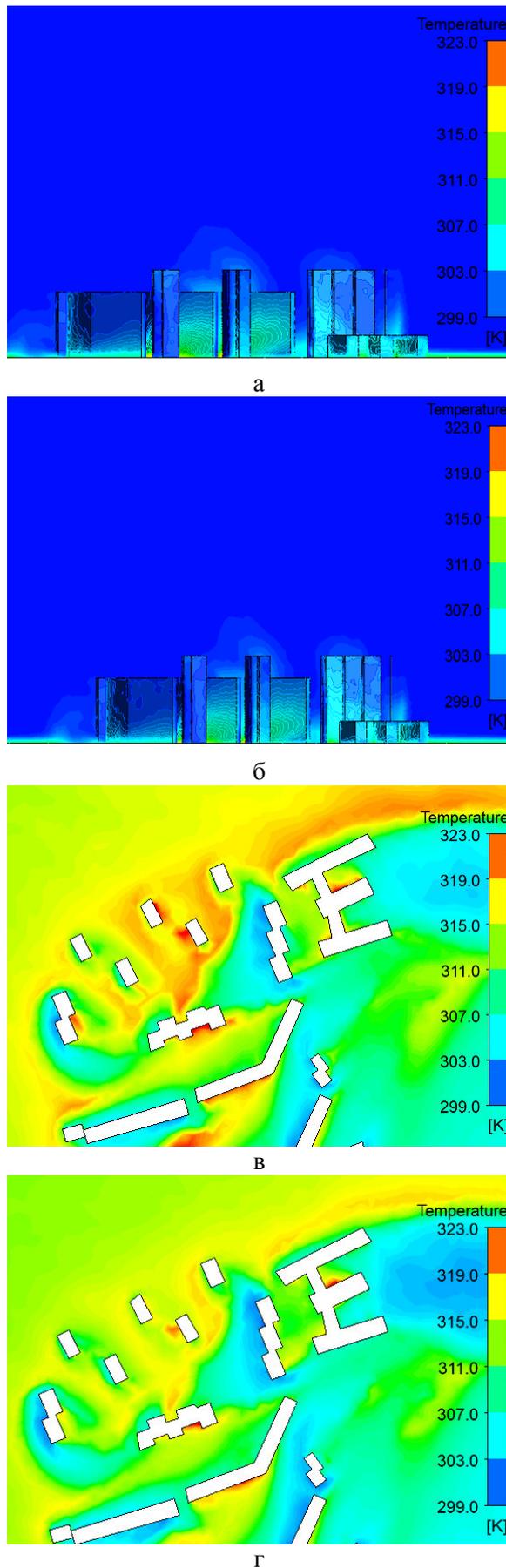


Рис. 3. Сравнение влияния типа земного покрытия на распределение температур: а, б – везде асфальт; в, г – везде почва и трава

Интенсивность солнечной радиации задана величиной 100 Вт/м^2 . Эти исследования были проведены для определения влияния утепления зданий на тепловой баланс городской застройки. Считалось, что исходное сопротивление теплопередачи равно $R = 0,74 \text{ м}^2\text{К/Вт}$, что соответствует коэффициенту теплопередачи $U = 1,35 \text{ Вт/м}^2\text{К}$. Считаем, что температура внутри помещений – $+20 \text{ }^\circ\text{C}$, тогда перепад температур равен $30 \text{ }^\circ\text{C}$. В таком случае общий тепловой поток при исходном утеплении зданий равен 40 Вт/м^2 .

После утепления современными материалами добиваемся достижения сопротивления теплопередачи $R = 3,22 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ [20], что соответствует коэффициенту теплопередачи $U = 0,31 \text{ Вт/м}^2\text{К}$. В таком случае общий тепловой поток после утепления зданий равен 10 Вт/м^2 .

В табл. 2 приведены сопротивления теплопередаче для конструкций отапливаемых домов согласно нормативам. Конструкции зданий, отапливаемых с температурой до $18 \text{ }^\circ\text{C}$, должны иметь сопротивления теплопередаче не большие тех, что указаны в табл. 2 [21].

Таблица 2 – Сопротивление теплопередаче для конструкций отапливаемых домов

Конструкции	$R, \text{ м}^2\text{К/Вт}$
1. Внешние стены с удельным весом материала не менее 100 кг/м^3	5,0
2. Внешние стены с удельным весом материала более 100 кг/м^3 и стены подвалов	3,3
3. Стены между отапливаемыми и неотапливаемыми помещениями	2,5
4. Пол над подвалом, перекрытие между помещением и неотапливаемым чердаком	5
5. Чердак, конструкции крыши	6,3
6. Окна, внешние двери, стеклянные стенки	0,48

Существующие значения сопротивления теплопередаче можно выбрать из справочников, например [22].

На рис. 4 и 5 приведены картины распределения температуры в рассматриваемой области в зимний период. Как видно из рисунков, утепление зданий влияет на распределение температур, однако это влияние незначительно и не превышает $1\text{--}2 \text{ }^\circ\text{C}$. Неучет радиационного солнечного излучения приводит к большой погрешности определения температур воздуха и поверхностей.

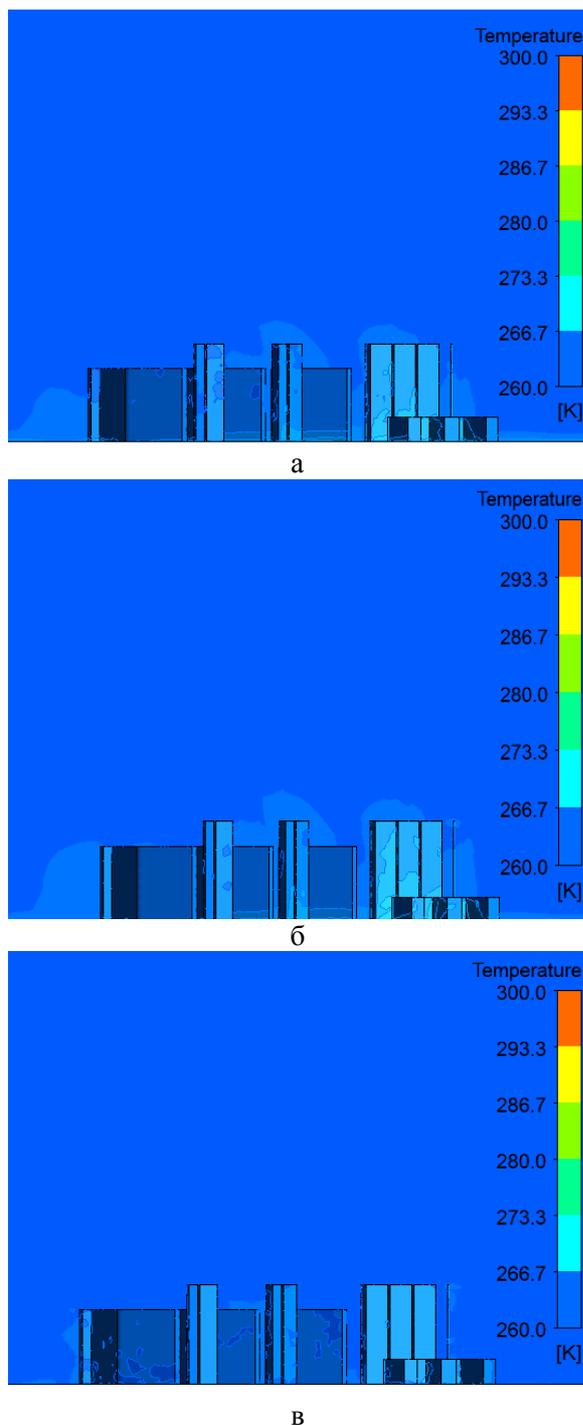


Рис. 4. Сравнение распределения температуры в зимний период: а – с утеплением, б – без утепления; в – без утепления и без учета радиационного излучения

Таким образом, представленный способ оценки проектных решений по уменьшению проявления эффекта городского теплового острова позволяет на стадии проектирования подобрать альbedo поверхностей и оценить влияние утепления зданий, что дает возможность проводить расчеты с учетом времени как в зимний, так и в летний периоды.

Выводы

В работе исследовано влияния типа и цвета поверхности зданий и земли на проявление эффекта теплового острова в больших городах, а также влияние утепления зданий на температуру окружающего их воздуха.

1) Изучено влияние альbedo поверхности земли на распределение температур. Как показали расчеты, покрытие земли асфальтом увеличивает значение средней температуры поверхности не менее чем на 5 °С. Таким образом, основным способом борьбы с эффектом городского теплового острова является изменение альbedo асфальта, например, использование специального «холодного» покрытия с низким альbedo (например, белое или серое покрытие, имеющие альbedo 0,69 и 0,42 соответственно).

2) Проанализировано влияние теплового потока от зданий в зимний период. При этом расчет произведен для условий без утепления зданий и с утеплением. Тепловой поток с утеплением составил 10 Вт/м², без утепления – 40 Вт/м². Утепление зданий влияет на распределение температур, однако это влияние незначительно и не превышает 1–2 °С. Неучет радиационного солнечного излучения приводит к значительной погрешности определения температур воздуха и поверхностей также и в зимний период.

Литература

1. Rosenfeld A. H., Akbari H., Rommi, J. J., Pomerantz M. Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction. *Energy and Buildings*. 1998. 28(1). P. 51–62.
2. Garssen J., Harmsen C., Beer J. The effect of the summer 2003 heat wave on mortality in the Netherlands. *Eurosurveillance*. 2005. 10 (7–9). P. 165–167.
3. Ashie Y., Tokairin T., Kono T., Takahashi K. Numerical simulation of urban heat island in a ten-kilometer square area of central Tokyo. *Annual report of the earth simulator center April*. 2006. P. 45–48.
4. Yang X., Li Y., Luo Z., Chan P. W. The urban cool island phenomenon in a high-rise high-density city and its mechanisms. *International Journal of Climatology*. 2017. 37(2). P. 890–904.
5. Maras I., Buttstädt M., Hahmann J., Hofmeister H., Schneider. Investigating public places and impacts of heat stress in the city of Aachen, Germany. *DIE ERDE–Journal of the Geographical Society of Berlin*. 2014. 144 (3–4). P. 290–303.
6. Oke T. R., Johnson G. T., Steyn D. G., Watson I. D. Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night Part 2: Diagnosis of causation. *Boundary-Layer Meteorology*. 1991. 56 (4). P. 339–358.

7. Arnfield A. J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International journal of climatology*. 2003. 23 (1). P. 1–26.
8. Georgakis C., Zoras S., Santamouris M. Studying the effect of «cool» coatings in street urban canyons and its potential as a heat island mitigation technique. *Sustainable Cities and Society*. 2014. 13. P. 20–31.
9. Shahidan M. F., Jones P. J., Gwilliam J., Salleh E. An evaluation of outdoor and building environment cooling achieved through combination modification of trees with ground materials. *Building and Environment*. 2012. 58. P. 245–257.
10. Carnielo E., Zinzi M. Optical and thermal characterisation of cool asphalts to mitigate urban temperatures and building cooling demand. *Building and Environment*. 2013. 60. P. 56–65.
11. Liu J., Srebric J., Yu N. Numerical simulation of convective heat transfer coefficients at the external surfaces of building arrays immersed in a turbulent boundary layer. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2013. 61. P. 209–225.
12. Сьомін Д. О., Роговий А. С. Вплив умов входу середовища, що перекачується, на енергетичні характеристики вихрекамерних насосів. *Вісник Національного технічного університету ХПІ. Серія «Гідравлічні машини та гідроагрегати»*. 2015. 3. С. 130–136.
13. Defraeye T., Blocken B., Carmeliet J. CFD analysis of convective heat transfer at the surfaces of a cube immersed in a turbulent boundary layer. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2010. 53 (1–3). P. 297–308.
14. Rogovyi A. Use of detached-eddy simulation method (DES) in calculations of the swirled flows in vortex apparatuses. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*. 2016. 16 (3). P. 57–62.
15. Rogovyi A. Energy performances of the vortex chamber supercharger. *Energy*. 2018. 163. P. 52–60.
16. Сьомін Д. О., Роговий А. С., Левашов А. М. Вплив закручення потоку, що перекачується, на енергетичні характеристики вихрекамерних насосів. *Вісник Національного технічного університету ХПІ. Серія «Гідравлічні машини та гідроагрегати»*. 2016. 20. С. 68–71.
17. Rogovyi A., Khovansky S. Application of the similarity theory for vortex chamber superchargers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing. 2017. 233 (1) P. 012011.
18. Jasak H. OpenFOAM: open source CFD in research and industry. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*. 2009. 1 (2). P. 89–94.
19. Семин Д. А., Роговой А. С., Левашов А. М., Левашов Я. М. Верификация расчетов течений в вихрекамерных устройствах. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Машинобудування»*. 2016. № 2 (77). С. 71–78.
20. Offerle B., Grimmond C. S. B., Fortuniak K., Klysik K., Oke T. Temporal variations in heat fluxes over a central European city centre. *Theoretical and applied climatology*. 2006. 84 (1–3). P. 103–115.
21. Stavrakakis G. M., Tzanaki E., Genetzaki V. I., Anagnostakis G., Galetakis G., Grigorakis E. A computational methodology for effective bioclimatic-design applications in the urban environment. *Sustainable Cities and Society*. 2012. 4. P. 41–57.
22. Hasan A. Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost. *Applied energy*. 1999. 63 (2). P. 115–124.
23. Ратушняк Г. С., Ратушняк О. Г. Управління проектами енергозбереження шляхом термомодернізації будівель: навчальний посібник. 2011. 106 с.
24. Малявина Е. Г. Теплопотери здания. Справочное пособие. Изд. 2-е. 2011. 144 с.

References

1. Rosenfeld A. H., Akbari H., Rommi, J. J., Pomerantz M. (1998). Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction. *Energy and Buildings*, 28 (1), 51–62.
2. Garssen J., Harmsen C., Beer J. (2005). The effect of the summer 2003 heat wave on mortality in the Netherlands. *Eurosurveillance*, 10 (7–9), 165–167.
3. Ashie Y., Tokairin T., Kono T., Takahashi K. (2006). Numerical simulation of urban heat island in a ten-kilometer square area of central Tokyo. *Annual report of the earth simulator center*, 45–48.
4. Yang X., Li Y., Luo Z., Chan P. W. (2017). The urban cool island phenomenon in a high-rise high-density city and its mechanisms. *International Journal of Climatology*, 37 (2), 890–904.
5. Maras I., Buttstädt M., Hahmann J., Hofmeister H., Schneider C. (2014). Investigating public places and impacts of heat stress in the city of Aachen, Germany. *DIE ERDE-Journal of the Geographical Society of Berlin*, 144 (3–4), 290–303.
6. Oke T. R., Johnson G. T., Steyn D. G., Watson I. D. (1991). Simulation of surface urban heat islands under ‘ideal’ conditions at night Part 2: Diagnosis of causation. *Boundary-Layer Meteorology*, 1991. 56 (4), 339–358.
7. Arnfield A. J. (2003). Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International journal of climatology*, 23 (1), 1–26.
8. Georgakis C., Zoras S., Santamouris M. (2014). Studying the effect of «cool» coatings in street urban canyons and its potential as a heat island mitigation technique. *Sustainable Cities and Society*, 13, 20–31.
9. Shahidan M. F., Jones P. J., Gwilliam J., Salleh E. (2012). An evaluation of outdoor and building environment cooling achieved through combina-

- tion modification of trees with ground materials. *Building and Environment*, 58, 245–257.
10. Carnielo E., Zinzi M. (2013). Optical and thermal characterisation of cool asphalts to mitigate urban temperatures and building cooling demand. *Building and Environment*, 60, 56–65.
 11. Liu J., Srebric J., Yu N. (2013). Numerical simulation of convective heat transfer coefficients at the external surfaces of building arrays immersed in a turbulent boundary layer. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 61, 209–225.
 12. Syomin D. O., Rogovyi A. S. (2015). Vplyv umov vkhodu seredovyscha, shcho perekachuyet'sya, na enerhetychni kharakterystyky vykhrekamernykh nasosiv [Influence of the input conditions of the pumped mediums on the energy characteristics of the vortex chamber superchargers]. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu KhPI. Seriya: Hidravlichni mashyny ta hidroahrehaty*, (3), 130–136 [in Ukrainian].
 13. Defraeye T., Blocken B., Carmeliet J. (2010). CFD analysis of convective heat transfer at the surfaces of a cube immersed in a turbulent boundary layer. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53 (1–3), 297–308.
 14. Rogovyi A. (2016). Use of detached-eddy simulation method (DES) in calculations of the swirled flows in vortex apparatuses. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, 16 (3), 57–62.
 15. Rogovyi A. (2018) Energy performances of the vortex chamber supercharger. *Energy*, 163, 52–60.
 16. Syomin D. O., Rogovyi A. S., Levashov A. M. (2016). Vplyv zakruchennya potoku, shcho perekachuyet'sya, na enerhetychni kharakterystyky vykhrekamernykh nasosiv. [Influence of the swirling of the pumped stream on the energy characteristics of the vortex chamber pumps]. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu KhPI. Seriya: Hidravlichni mashyny ta hidroahrehaty* (20), 68–71 [in Ukrainian].
 17. Rogovyi A., Khovanskyi S. (2017). Application of the similarity theory for vortex chamber superchargers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing*, 233 (1), 012011.
 18. Jasak H. (2009). OpenFOAM: open source CFD in research and industry. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 1(2), 89–94.
 19. Syomin D. O., Rogovyi A. S., Levashov A. M., Levashov Ya. M. (2016). Verifikatsiya raschetov techenii v vykhrekamernykh ustroistvakh [Verification of calculations of flows in the vortex chamber devices]. *Visnyk NTUU «KPI». Ser. Mashynobuduvannya*, 2 (77), 71–78 [in Russian].
 20. Offerle B., Grimmond C. S. B., Fortuniak K., Kłysik K., Oke T. (2006). Temporal variations in heat fluxes over a central European city centre. *Theoretical and applied climatology*, 84 (1–3), 103–115.
 21. Stavrakakis G. M., Tzanaki E., Genetzaki V. I., Anagnostakis G., Galetakis G., Grigorakis E. (2012). A computational methodology for effective bioclimatic-design applications in the urban environment. *Sustainable Cities and Society*, 4, 41–57.
 22. Hasan A. (1999). Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost. *Applied energy*, 63 (2), 115–124.
 23. Ratushnyak H. S., Ratushnyak O. H. (2011). Upravlinnya proektamy enerhozberezhennya shlyakhom termorenovatsiyi budivel' [Project management of energy saving by thermal building of buildings]. *Navchal'nyy posibnyk*. [in Ukrainian].
 24. Malyavina E. G. (2011). Teplopoteri zdaniya [Heat losses of the building]. *Spravochnoe posobie*. [in Russian].
- Роговой Андрей Сергеевич**, д.т.н., профессор кафедры теоретической механики и гидравлики, тел. +38-057-707-37-30, e-mail: asrogovoy@ukr.net. Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.
- Вплив кольору та типу поверхні Землі на прояв ефекту теплового острова у великих містах**
- Анотація.* Ефект теплового міського острова на сьогоднішній день добре відомий і зафіксований уже в багатьох містах планети. Проявляється він у підвищенні температури всередині мегаполісу порівняно з навколишньою сільською місцевістю протягом декількох годин за добу. Основними способами поліпшення мікроклімату великих міст є збільшення зелених насаджень і водойм, використання холодних кольорів. Однак ці способи практично неможливо застосувати внаслідок відсутності достатнього простору в центрах мегаполісів для адекватного поліпшення теплообміну. Тому одним з кращих способів оцінки проектних рішень є попереднє математичне моделювання на основі рішення декількох моделей: моделі адвекції, моделі теплообміну з урахуванням сонячного випромінювання, моделі течії повітря на основі розрахунку осереднених рівнянь Рейнольдса. Метою цієї роботи є дослідження впливу типу й кольору поверхні будинків і землі на прояв ефекту теплового острова у великих містах на прикладі м. Харкова. Як показали розрахунки, покриття землі асфальтом збільшує значення середньої температури поверхні не менше ніж на 5 °С. Таким чином, основним способом боротьби з ефектом міського теплового острова є зміна альbedo асфальту, наприклад, покриття спеціальним «холодним» матеріалом з низьким альbedo. Проаналізовано вплив теплового потоку від будинків у зимовий період. Зокрема розрахунок зроблений для умов без утеплення будинків і з утепленням. Утеплення будинків впливає на розподіл температур, однак цей вплив незначний і не

перевищує $1..2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Неврахування радіаційного сонячного випромінювання призводить до значної похибки визначення температур повітря й поверхонь у зимовий період також. Таким чином, уперше для м. Харкова вивчений прояв ефекту міського острова. Отримані результати можуть використатися для розробки проектів боротьби з проявом ефекту й дозволяють знизити температуру в мегаполісі та поліпшити якість життя городян.

Ключові слова: мікроклімат, ефект міського теплового острова, числові розрахунки, математична модель, теплоперенесення.

Роговий Андрій Сергійович, д.т.н., професор кафедри теоретичної механіки та гідравліки, тел. +38-057-707-37-30, e-mail: asrogovoy@ukr.net. Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25

Effect of the color and type of earth surface on manifestation of a heat island in big cities

Problem. The urban heat island effect is well known today and has already been recorded in many cities of the world. It manifests itself in raising the temperature inside the city in comparison with the surrounding countryside site for several hours a day. The main ways to improve the microclimate of big cities is to increase greenery and water basins, and also use cold colors. However, these methods are practically impossible to apply, due to the lack of sufficient space in the city centers to adequately improve heat transfer. Therefore, one of the best methods for evaluating design decisions is a preliminary mathematical modeling. **Goal.** The goal is to study the influence of the surface type and color on the heat island effect in big cities,

for example, Kharkiv. **Methodology.** The results are obtained on the basis of a numerical solution of the mathematical model that includes the equations of air movement taking into account heat transfer and a model of solar radiation. **Results.** As the calculations have shown, asphalt coverage of the ground increases the value of the average surface temperature of not less than $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Thus, the main way to deal with the urban heat island effect is to change the asphalt albedo, for example, covering with a special “cold” coating with a low albedo. The influence of heat flow from buildings in the winter period is analyzed. The calculation is made for conditions without buildings insulation and with one. The building insulation affects the temperature distribution, but this effect is insignificant and does not exceed $1..2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Non-consideration of solar radiation results in a significant error in determining the air temperature and surface temperature during the winter period as well. **Originality.** For the first time in Kharkiv the manifestation of the urban heat island effect and the influence of surface albedo on it has been studied. **Practical value.** The obtained results can be used in the development of projects to fight this effect and to allow lowering the temperature in the city and improve the quality of citizens' life.

Key words: microclimate, the urban heat island effect, numerical calculations, mathematical model, heat transfer.

Rogovyi Andrii, professor, Doct. of Science, Theoretical Mechanics and Hydraulics Department, tel. +38-057-707-37-30, e-mail: asrogovoy@ukr.net. Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.