

УДК 711.502.3

© И. С. Шукуров, д-р техн. наук, профессор

© К. И. Микири, аспирант

© М. А. Ахмед Эламин, аспирант

(Московский государственный
строительный университет)

E-mail: shukurov2007@yandex.ru, goa68@yandex.ru,

ahmedelamin@mail.ru

© I. S. Shukurov, Dr. Sci. Tech., Professor

© K. I. Mikiri, post-graduate student

© M. A. Akhmed Elamin, post-graduate student

(National Research University Moscow State
University of Civil Engineering)

E-mail: shukurov2007@yandex.ru, goa68@yandex.ru,

ahmedelamin@mail.ru

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ г. ДАМАСКА

AERODYNAMIC MODELING AT STUDYING AIR DUST CONTENT OF RESIDENTIAL DEVELOPMENT IN DAMASCUS

Раскрываются проблемы запыленности г. Дамаска и необходимости учета местных природно-климатических особенностей в градостроительстве. Указываются факторы формирования запыленности с учетом особенностей рельефа и застройки города. Материал статьи основан на теоретических и натурных наблюдениях, проведенных на прибрежных территориях р. Барады. Результаты исследований показывают, что запыленность в жилой застройке, расположенной на побережье, зависит от ее плотности и характера рельефа. Согласно аэродинамическому моделированию, условия рассеяния запыленности в различных зонах Дамаска могут значительно различаться.

Ключевые слова: моделирование, градостроительство, запыленность, жилая застройка, прибрежная полоса, Дамаск, критерии подобия.

The article deals with the problem of air dust content in Damascus and the need to consider the local climatic characteristics in urban development. The factors of dust content formation are highlighted taking into consideration such features as the relief of the terrain and building development of the city. Theoretical and field observations in the coastal areas of the Barada River were conducted to study the air dust content in Damascus. Research results show that air dust content in the housing development located on the river banks depends on its density and the character of relief. According to the aerodynamic modeling, conditions of dust content dispersion in various zones of the city can differ considerably.

Keywords: modeling, urban development, air dust content, residential development, riverside, Damascus, similarity criteria.

Дамаск — столица Сирии и второй по величине город страны. Он находится на юго-западе Сирии возле восточного предгорья Восточноливанской гряды на высоте 680 м над уровнем моря на Восточном плато в нижней части р. Барады, в месте ее разделения на семь рукавов. (Река является мощным природным термостатом.)

Климат Дамаска — субтропический полупустынный. Лето жаркое, но смягчается высотой над уровнем моря. Несмотря на близость Средиземного моря, осадки очень редки. За год их выпадает всего 130 мм, в основном зимой. Средняя температура января составляет около +6 °С. Самым теплым месяцем является июль,

средняя температура которого составляет +27,3 °С.

Дамаск имеет сложную орографию (рельеф местности). Часто наблюдается самум (от араб. «самма» — «жар, ядовитый, отравленный, огненный ветер, дыхание смерти») — сухой и горячий ветер, наблюдаемый на побережье Средиземноморья. Внезапно налетая из пустыни, он сопровождается пыльными бурями и вихрями.

Вопрос пылепереноса от пригородной зоны и, как следствие, запыленности самой городской среды актуален для Дамаска. Однако этот важный градостроительный вопрос до настоящего времени недостаточно изучен. Даже в районах

с активной пылеветровой деятельностью, обусловленной природно-климатическими условиями, при решении градостроительных вопросов недостаточно учитывается фактор запыленности.

Наземная или городская пыль содержит смесь поднятых в воздух частиц почвы, дорожного покрытия, дыма, сажи, растительных и животных организмов (спор, бактерий, плесеней и др.). Наибольшее содержание пыли отмечается в нижних слоях атмосферы, непосредственно прилегающих к поверхности земли.

Постоянный рост автомобильного парка, увеличение интенсивности движения и площади улично-дорожной сети существенно усложняют удаление загрязнений, скапливающихся на поверхности проезжей части. Эти загрязнения являются дополнительным источником запыленности воздуха городских территорий, ухудшая внешний вид застройки (рис. 1).

Значительная запыленность воздуха отрицательно сказывается на интенсивности солнечной инсоляции и препятствует озеленению города зелеными насаждениями. Именно городская пыль хуже всего влияет на дыхательную систему человека. Кроме того, высокая запыленность

воздуха — частая причина обострения и прогрессирования хронических заболеваний бронхов и легких. Проникая в жилище, пыль может способствовать распространению некоторых заразных болезней (так называемых капельных инфекций: туберкулеза, полиомиелита, дифтерии, гриппа и многих других). В связи с этим одной из важнейших проблем представляется предотвращение сильной запыленности атмосферного воздуха.

Важный метод исследования процессов при изучении запыленности воздуха жилой застройки — моделирование в аэродинамических трубах. По сравнению с натурными экспериментами, каждый из которых требует участия множества человек с сотнями приборов и соответствующего транспортного обеспечения, эксперименты в лабораторных условиях несравнимо дешевле. Поэтому данный метод широко распространен.

Существующие способы определения запыленности воздуха подразделяются на две основные группы: а) с выделением дисперсной фазы из аэрозоля; б) без выделения дисперсной фазы из аэрозоля. К первой группе относятся весовой (гравиметрический) и счетный (конометриче-



Рис. 1. Запыленность городской магистрали

ский) методы, ко второй — фотоэлектрические, электрометрические, оптические и радиационные.

Главная проблема при моделировании в аэродинамических трубах — соблюдение критериев подобия. Значения основных параметров выдерживаются равными натурным значениям. В частности, при моделировании температурной неоднородности поверхности «земля–река» температуру модельной «реки» устанавливают исходя из условия сохранения натурального числа Ричардсона:

$$R = \frac{gT}{(\Delta T / \Delta z)^2} (\Delta u / \Delta z), \quad (1)$$

где g — ускорение свободного падения; T — температура воздуха; $(\Delta T / \Delta z)$ — средний градиент температуры между поверхностью земли и границей приземного слоя; $(\Delta u / \Delta z)$ — средний градиент скорости ветра между поверхностью земли и границей приземного слоя.

В зависимости от распределения атмосферного давления воздух постоянно перемещается в горизонтальном направлении. К горизонтальному переносу воздуха присоединяются и вертикальные составляющие. Их значения невелики и, как правило, не превышают нескольких сантиметров (или десятых долей сантиметра) в секунду. Только в особых условиях (т. е. при конвекции) в небольших участках атмосферы вертикальные составляющие скорости движения воздуха могут достигать нескольких метров в секунду.

Для оценки влияния орографии и реки на участки запыленности были проведены натурные и аэродинамические исследования распространения запыленности над макетом жилых застроек Дамаска. Изучалось влияние характеристик воздушных течений над городом, обусловленных особенностями рельефа окружающей местности и жилой застройки с учетом наличия р. Барады.

Принцип подобия позволял моделировать реальные объекты с размерами от нескольких до сотни метров. Для этого в соответствующем масштабе изготавливали макеты группы зданий или местности. Также использовали карту горизонталей данной местности, а на основании типа поверхности определяли шероховатость модельной поверхности. Особое внимание уделяли реке

Бараде, поскольку температура воды часто значительно отличалась от температуры деятельной поверхности жилой застройки. Скорость воздуха в произвольной точке трубы измеряли с помощью термоанемометра, а концентрацию запыленности — несколькими методами, выбор которых диктовался состоянием пылевых частиц при определении их веса (во взвешенном в воздухе или в другом состоянии) [2].

Для сопоставления полученных результатов проводились аналогичные натурные измерения на прибрежных застроенных и незастроенных (свободных) территориях. Пункты измерения располагались вдоль улиц, направленных перпендикулярно к береговой линии реки. Стационарные пункты находились в начале и в конце маршрута. Маршрутные точки располагались группами (по три) в пределах ширины каждой жилой застройки вдоль улиц [2].

Пункты наблюдения располагались по створу реки через 250–380 м. Все измерения как на застроенных, так и на свободных территориях проводились на высоте 1,5 м от поверхности земли (зона дыхания взрослого человека). При градиентных измерениях микроклиматические параметры фиксировались также на высотах 0,5, 2,0 и 3,5 м [3].

Обработка полученного материала осуществлялась методами вариационной статистики и корреляционного анализа. При этом использовалась связь между тепловлажностными показателями, их разностями и метеорологическими элементами. Для относительно стабильных во времени и пространстве метеорологических элементов, таких как температура и влажность воздуха, использовался метод разностей, основанный на устойчивости различий этих элементов в пунктах наблюдений, удаленных от реки и опорных контрольных пунктов. Результаты наблюдений позволили изучить закономерности изменения параметров у реки и в застройке и построить графики их корреляционных соотношений [4].

В рассматриваемом районе наблюдаются ветры с суточным изменением направления. Они формируются не только на правом берегу Барады, расположенном на юго-западном склоне возвышенности, где ветры с суточной периодичностью могут иметь горно-долинную природу, но и на плоском левом берегу, где рельеф не по-

звляет предполагать появления интенсивных горно-долинных ветров. Средний коэффициент «бризовости» практически одинаков на обоих берегах: для контрольных точек левобережья он составляет в среднем 38 %, правого — 34 %.

Изменение температуры воздуха (на высоте 1,5 м) в жилой застройке с увеличением расстояния от р. Барады в жаркий сухой период выражается зависимостью

$$\Delta t = k(T_{\text{п}} - T_{\text{в}}) \ln\left(1 + \frac{L}{100}\right), \quad (2)$$

где $T_{\text{п}}$ — температура воздуха в жилой застройке на высоте 1,5 м от поверхности земли вне зоны влияния реки, °С; $T_{\text{в}}$ — температура воздуха у уреза воды на той же высоте, °С; k — коэффициент, учитывающий высоты застройки, $k = 0,65$; L — расстояние от уреза реки до контрольного пункта исследования в зоне влияния р. Барады.

При исследовании моделей берегового склона с различными углами наклона к горизонтальной плоскости было установлено, что в зоне подошвы склона и за его бровкой происходит снижение начальной скорости потока. В зоне между подошвой и бровкой отмечено возрастание скорости ветра относительно начального значения. Степень трансформации начальной скорости определяется крутизной склона [5].

При наблюдениях за ветром выявлены свойства подстилающей поверхности, влияющие на суточный ход вертикального градиента скорости ветра. Поэтому точной корреляции для одного и того же срока не отмечается.

При обработке данных по относительной влажности воздуха коэффициенты корреляции имеют примерно такой же порядок, что и для скорости ветра.

На высоте 2,0 м при крутизне склона 8° снижение скорости наблюдается между урезом реки

и подошвой склона и составляет 11–14 % от первоначального значения. От подошвы до середины склона происходит возрастание скорости с превышением начального значения на 19–35 %. С середины склона до бровки наблюдается резкий спад скорости, который продолжается на верхней террасе на расстоянии около 150–200 м (рис. 2).

Ветровые потоки влияют и на высоту конфигурации застройки. Направленность ветровых потоков — фактор, способный определить высотный регламент застройки как набережных р. Барады, так и центральной части Дамаска (рис. 3).

По степени влияния р. Барады на тепловлажностный режим жилой застройки определены четыре зоны городской территории [6]:

- 1) нижняя терраса берегового склона;
- 2) зона между бровкой берегового склона и фронтом застройки;
- 3) застроенные территории, испытывающие постоянное тепловлажностное воздействие реки;
- 4) застроенные территории, испытывающие эпизодическое (неустойчивое) влияние реки.

Анализ имеющихся работ и опыта проектирования Дамаска позволяет констатировать отсутствие единого научно обоснованного подхода к оценке и учету ветрового режима и запыленности жилой застройки.

Приведем основные выводы данных исследований, важные в практическом плане:

- В зависимости от направления ветра коэффициенты турбулентной диффузии могут отличаться в несколько раз.
- Влияние реки проявляется не только на улицах, перпендикулярных и параллельных бе-

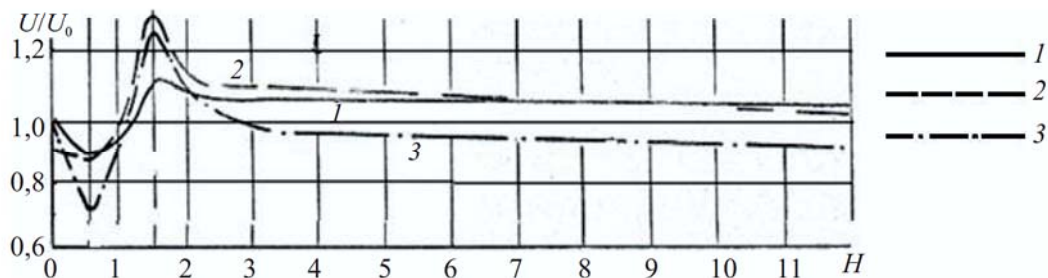


Рис. 2. Изменение скорости ветра в зависимости от крутизны склона р. Барады на следующей высоте: 1 — 1,5 м; 2 — 2,0 м; 3 — 3,5 м

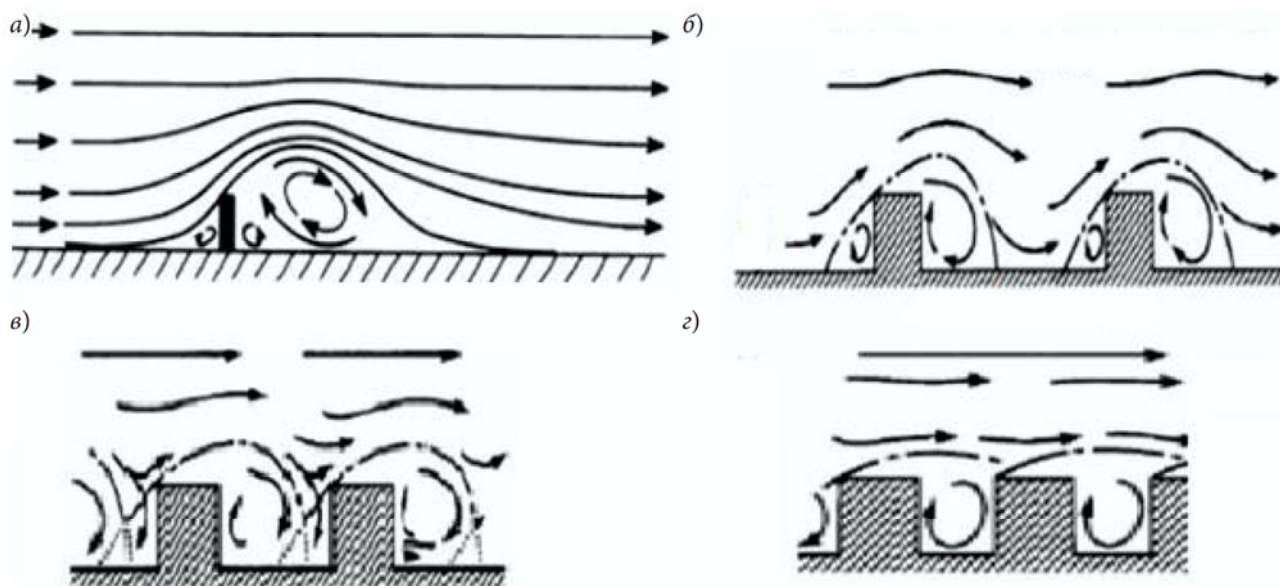


Рис. 3. Направленность воздушных потоков различных типов застройки на наб. р. Барады: а — обтекание одиночного пространства; б — обтекание группы зданий; в — интерференция потока; г — сильные потоки

реговой линии, но и непосредственно на территориях жилых зон. Ветровой режим жилой застройки определяется главным образом потоками воздуха, поступающими через разрывы между зданиями со стороны р. Барады.

- Учет реки важен и зависит от направления ветра.

- Со стороны экологически благополучной части пригородной зоны следует уменьшать высоту застройки, а с противоположной ей стороны — увеличивать. Это позволяет центральной части города термической конвекции сместиться к противоположной стороне, что обеспечит максимальный охват территории города свежим речным «бризом».

- В градостроительной деятельности Дамаска не практикуется дифференцированный подход к планировке застройки города, расположенной в сложных физико-орографических условиях, характеризующихся различным ветровым режимом.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что нормативные материалы Российской Федерации (например, ОНД-86) не позволяют проводить адекватную оценку запыленности атмосферного воздуха для условий Дамаска. Как показывает аэродинамическое моделирование, в пределах Дамаска условия рассеяния запыленности могут значительно различаться.

Библиографический список

1. Руководство по оценке и регулированию ветрового режима жилой застройки. М.: Стройиздат, 1986. 61 с.
2. Чистякова С. Б. Учет климата и регулирование микроклимата при благоустройстве и озеленение города // Исследование по микроклимату и шумовому режиму населенных мест. 1965. Вып. 3. С. 20–28.
3. Шукуров И. С. Роль солнцезащитных устройств в формировании микроклимата типичного дома Ирака // Жилищное строительство. 2009. № 8. С. 13–16.
4. Шукуров И. С. Земельно-территориальные и транспортные проблемы города Душанбе и пути их решения // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2013. № 3. С. 43–46.
5. Шукуров И. С. Тепловетровой режим жилой застройки в условиях жарко-штилевого и сухого климата // Жилищное строительство. 2005. № 2. С. 20–21.
6. Шукуров И. С., Ахмед Эламин М. А. Влияние Голубого и Белого Нила на градозоологию прибрежных урбанизированных территорий Хартума // ПГС. 2016. № 3. С. 15–19.

References

1. *Rukovodstvo po otsenke i regulirovaniyu vetrovogo rezhima zhiloy zastroyki* [Guidance by assessment and regulation of the wind mode of the housing development]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986, 61 p.
2. Chistyakova S. B. *Uchet klimata i regulirovanie mikroklimata pri blagoustroystve i ozelenenie goroda* [Tak-

ing into account the climate features and regulation of the microclimate at provision of urban amenities and landscaping of the city]. *Issledovanie po mikroklimatu i shumovomu rezhimu naseleennykh mest – Research on a microclimate and the noise mode of the inhabited areas*, 1965, iss. 3, pp. 20–28.

3. Shukurov I. S. *Rol' solntsezashchitnykh ustroystv v formirovanii mikroklimata tipichnogo doma Iraka* [The role of sun-protection devices in forming the microclimate of the typical house in Iraq]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing construction*, 2009, no. 8, pp. 13–16.

4. Shukurov I. S. *Zemel'no-territorial'nye i transportnye problemy goroda Dushanbe i puti ikh resheniya* [Land and territorial and transport problems of Dushanbe and the

ways of solving them]. *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel' – Land management, inventory and monitoring of lands*, 2013, no. 3, pp. 43–46.

5. Shukurov I. S. *Teplovetrovoy rezhim zhiloy zastroyki v usloviyakh zharko-shtilevogo i sukhogo klimata* [The heat and wind mode of the housing development in conditions of hot and still arid climate]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing construction*, 2005, no. 2, pp. 20–21.

6. Shukurov I. S., Akhmed Ehlamin M. A. *Vliyanie Golubogo i Belogo Nila na gradoekologiyu pribrezhnykh urbanizirovannykh territoriy Khartuma* [The Blue and White Nile influence on the urban ecology of the riverside urbanized territories of Khartoum]. *PGS – Industrial and civil construction*, 2016, no. 3, pp. 15–19.