

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ С АЭРАЦИЕЙ НА КАЧЕСТВО ВОЗДУХА ГОРОДОВ

Васильев В.Ф.

ECOLOGICAL INFLUENCE OF INDUSTRIAL BUILDINGS WITH AERATION ON AIR QUALITY OF CITIES

Vasilijev V. F.

Аннотация

Рассмотрены вопросы, связанные с оценкой влияния производственных зданий с аэрацией на качество воздуха промышленных площадок и городов. Воздушная среда промышленной площадки рассматривается как единая динамическая система с воздушной средой производственного здания. В качестве объекта исследования принято производственное здание сложного профиля с открытыми аэрационными проемами — сблокированный кислородно-конвертерный цех, насыщенный технологическими линиями, встроенными помещениями, разновысокими площадками.

Исследованы закономерности распространения выделяющихся вредностей с аэрационными потоками в здании и на промышленной площадке при обтекании здания ветровым потоком. Приведены данные испытаний моделей зданий в объемном гидравлическом лотке. Исследованы различные уклоны кровли над отделением непрерывной разливки стали: «малонаклонные», «с переломом», «крутоуклонные».

Получена качественная картина обтекания здания потоком, а также аэрационных потоков в цехе при различных объемно-планировочных решениях цеха. Установлено отличие характера обтекания воздушным потоком здания с аэрационными проемами и фонарями от зданий с непроницаемыми ограждениями. Выявлены устойчивые аэрационные потоки, формируемые под действием ветра в сблокированном цехе. Результаты моделирования в объемном гидравлическом лотке могут быть использованы для оценки результатов численного моделирования при экологической оценке влияния производственных зданий с аэрацией на качество воздуха городов.

Ключевые слова: качество воздуха, аэродинамика производственных зданий, аэрация.

Введение

Загрязнение атмосферы крупных промышленных центров в настоящее время представляет серьезную экологическую проблему. Существенный вклад в загрязнение атмосферы вносят металлургические заводы.

Несмотря на совершенствование технологических процессов и методов очистки в атмосферу с производственными выбросами поступает

Abstract

An estimation of the influence of industrial buildings with aeration on air quality of industrial sites and cities is considered. The air environment of an industrial site is considered as a single dynamic system with the air environment of a production building. The object of a study is a production building with a complex profile with open aeration openings - a blocked oxygen-converter shop, saturated with technological lines, built-in premises, multi-site platforms. The regularities of the distribution of the released hazards with aeration flows in the building and on the industrial site during the flow around the building by the wind flow are investigated. The test data of building models in a volumetric hydraulic tray are given. Various roof inclinations have been investigated over the separation of continuous casting of steel: "small-inclined", "with fracture", "steeply inclined". A qualitative picture of flow around the building with flow, as well as aeration flows in the shop, with various space-planning solutions of the workshop are obtained. A distinction between the nature of air flow around the building with aeration openings and lanterns from buildings with impenetrable fences is made. Steady aeration flows, formed under the influence of wind in the interlocked shop, are revealed. Simulation results in a volumetric hydraulic tray might be used to evaluate the results of numerical simulation in the environmental assessment of the impact of industrial buildings with aeration on urban air quality.

Keywords: air quality, aerodynamics of industrial buildings, aeration.

значительное количество вредных примесей — твердых частиц, диоксида серы и окислов азота, летучих органических соединений, тяжелых металлов, стойких органических соединений и кислот. В 2015 г. объем выбросов загрязняющих атмосферу веществ в металлургии снизился по отношению к 2007 г. на 24,8 % [8]. Однако выбросы вредных загрязняющих веществ в атмосферу для черной металлургии все еще составля-

ют 5–6 % от общего объема данных выбросов по России в целом [8].

При обосновании экологической безопасности промышленных предприятий необходимо обеспечить соблюдение стандартов качества воздуха в производственных зданиях, на промплощадке и в пределах санитарно-защитной зоны, что особенно актуально при реконструкции существующих предприятий или жилой застройки. Выбор экологически безопасных, экономически обоснованных и энергоэффективных решений должен основываться на всестороннем анализе экологической ситуации особенно в городах с развитой промышленностью [7].

Особая сложность в обеспечении стандартов качества воздуха имеет место для промпредприятий, где широко используется аэрация. Для современных промышленных площадок характерно наличие разнообразных выбросов: технологических и вентиляционных, организованных и неорганизованных, высоких и низких, точечных и линейных, нагретых и холодных. Степень загрязнения воздуха промплощадок и санитарно-защитных зон зависит как от количества и параметров выхода вредных веществ, так и от аэродинамического режима застройки, который и формирует пространственно-временное распределение концентраций.

В настоящее время распространено строительство блокированных производственных цехов, что значительно сокращает площадь цеха и наружных ограждающих конструкций. Обеспечение средствами аэрации в многопролетных цехах с тепловыделениями нормируемых микроклиматических условий вызывает значительные затруднения, так как рабочие места находятся на значительном расстоянии от приточных проемов в наружных стенах. Кроме того, эффективность аэрации зависит от объемно-планировочных решений, размещения технологического оборудования и расположения приточных и вытяжных отверстий.

При взаимодействии производственных зданий и строений с ветровым потоком образуются зоны ветровой тени (зоны циркуляции потока) [17]. Вредные вещества, содержащиеся в вентиляционных и низких выбросах, попадая в эти зоны, накапливаются до величин, превышающих предельно допустимые значения для рабо-

чей зоны помещений. Если аэрационные проемы оказываются расположенными в зонах ветровой тени, то загрязненный воздух возвращается в производственные помещения.

Ветровой поток — турбулентное движение воздуха, которое характеризуется скоростью, направлением, профилем в зависимости от вида поверхностью земли, и является основным метеорологическим фактором, влияющим на распространение загрязняющих веществ. Скорость и направление ветра изменяются с течением времени, что, в свою очередь, сказывается на размерах зон циркуляции и распределении концентраций вредных веществ в атмосфере промплощадки, что имеет важное значение при решении вопросов размещения промышленных предприятий и определении санитарно-защитных зон.

Процессы аэрации носят вероятностный характер и требуют совместного решения внутренней задачи (определения энергоэффективных воздухообменов) и внешней (рассеивания вредных веществ в воздухе промплощадки и санитарно-защитной зоне). Использование при проектировании только нормативных документов не гарантирует, что качество воздушной среды в производственных и административных зданиях на промплощадке и в прилегающей жилой застройке будет удовлетворять существующим стандартам. Поэтому целесообразно рассматривать вопросы, связанные с организацией вентиляционных процессов в целом для всего комплекса, объединяя производственные помещения и окружающую атмосферу в единую динамическую систему [2–4].

Предмет, задачи и методы исследований

Для расчета систем обеспечения качества воздушной среды должен реализовываться метод физико-математического моделирования [2–4], основанный на решении дифференциальных уравнений тепломассопереноса в пределах единой динамической системы, объединяющей внутреннюю среду зданий и окружающую их атмосферу, и физический эксперимент.

Численное моделирование построено на решении системы дифференциальных уравнений [1–3, 13].

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(v_t \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right); \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_j}{\partial x_j} = 0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + (U_j - W_g \delta_{j3}) \frac{\partial C}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{v_i}{\sigma} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right), \quad (3)$$

где t — время; U_i — компоненты вектора скорости; ρ — плотность воздуха; P — давление; C — концентрация примеси; g — ускорение свободного падения; W_g — скорость оседания примеси; v_i — коэффициент турбулентной вязкости; δ_{j3} — тензор Кронекера ($\delta_{j3} = 1$ при $i = 3$); σ — турбулентное число Прандтля.

При решении внутренней задачи используется двухпараметрическая модель турбулентного переноса $k-\xi$.

Для внешней задачи вследствие большого количества расчетных ячеек коэффициент турбулентной вязкости v_i рассчитывается по методу Смагоринского как сумма фоновой и подсеточной вязкости.

Ряд авторов при моделировании обтекания ветровым потоком зданий принимают, что влияние открытых проемов (окна, двери) на аэродинамическую характеристику обтекаемых зданий невелико и этим фактором можно пренебречь [14]. Такие исследования часто проводятся на сплошных моделях [10, 11]. Следует отметить, что характер формирования поля скорости сплошных и пористых преград различен [16]. Учет проницаемости зданий изменяет поля скорости и пространственное распределение концентраций.

Для оценки корректности результатов численного моделирования проводят исследования в соответствии с требованиями теории подобия в аэродинамических трубах или в гидрлотках.

Физическое моделирование

Моделирование в аэродинамических трубах проводят для изучения особенностей обтекания зданий ветровым потоком, распределения давления на поверхности зданий, как правило, в режиме автомодельности по числу Re . Такие эксперименты позволяют определить аэродинамические коэффициенты зданий и сооружений, размеры зон ветровой тени и временные характеристики воздухообмена в этой зоне. Для переноса результатов модельных экспериментов на сходные натурные условия необходимо обосновать подобие

изучаемых процессов, т. е. тождественность дифференциальных уравнений, которые описывают изучаемые процессы, а также подобие начальных и граничных условий.

Моделирование в гидравлическом лотке дает возможность оценить характер и картину взаимодействия зданий с потоком. При моделировании в объемном гидравлическом лотке, кроме геометрического подобия, необходимо выдержать равенство основных чисел подобия: Рейнольдса (Re), Фруда (Fr), Эйлера (Eu) или доказать автомодельность, т. е. независимость характера течения от соответствующего критерия. Экспериментальная проверка условий автомодельности показала, что числами Re и Fr при обтекании модели выровненным потоком можно пренебречь, а число Эйлера при наличии вынужденного движения выпадает из числа определяющих факторов [12].

В качестве объекта исследования принято производственное здание сложного профиля с открытыми аэрационными проемами — сблокированный кислородно-конвертерный цех (ККЦ). Миксерное (МО), кислородно-конвертерное (ККО) отделения и отделение непрерывной разливки стали (ОНРС) сблокированы в одно здание с устройством разноуклонных кровель взамен традиционных плоских. В плане и по высоте цехи представляют собой крупногабаритные сооружения, насыщенные технологическими линиями, встроенными помещениями, разновысокими площадками.

Кислородно-конвертерное производство стали сопровождается значительными тепловыделениями. Например, теплопоступления в типовой цех при одновременной работе двух конвертеров емкостью 100 т составляют $35 \cdot 10^6$ Вт, а теплонапряженность такого цеха — 85 Вт/м³. Для ассимиляции избытков теплоты в ККЦ требуются воздухообмены порядка $15 \cdot 10^6 \div 20 \cdot 10^6$ м³/ч.

Подача и удаление воздуха производится, в основном, с помощью аэрации. Для обеспечения притока воздуха по периметру зданий ККЦ устраиваются расположенные на различных отметках аэрационные проемы. Удаление воздуха осуществляется через вентиляционные шахты и аэрационно-световые фонари на покрытии здания.

Сложность организации аэрации заключается в том, что в ККЦ находится большое количество

во тепловыделяющего оборудования, установленного на разных отметках, и имеются многочисленные встроенные помещения, размещение которых у наружных стен на нулевой отметке приводит к сокращению площади аэрационных проемов и оказывает влияние на аэродинамику воздушных потоков.

Цех представляет собой шестипролетное здание с размерами в плане 163×192 м выплавка стали производится в двух конвертерах емкостью 130 т, а разливка — на трех машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ).

Наибольший интерес представляет ОНРС. Это самое крупное из трех отделений (на его долю приходится порядка 75 % всей площади цеха и более 50 % общих тепловыделений). Изменение углов кровли, мест расположения и размеров аэрационных фонарей возможны, главным образом, в нем. В остальных отделениях (МО и ККО) строительная часть ввиду насыщенности их технологическими линиями и встроенными помещениями может меняться лишь в ограниченных пределах.

Задачей исследования является выявление особенностей взаимодействия таких промышленных зданий с ветровым потоком и проверка возможности обеспечения средствами аэрации нормируемых параметров воздуха при блокировании трех основных отделений ККЦ в одно здание.

Исследования аэрации ККЦ выполнены в объемном гидравлическом лотке на модели в масштабе 1:500. Размеры приточных и вытяжных отверстий не изменялись. Помещение кислородной находится за пределами цеха.

Использование гидравлического лотка позволяет получить качественную картину обтекания здания потоком, учесть влияние формы здания и объемнопланировочных решений на аэрацию цеха и на величину зоны ветровой тени. Эта картина является приближенной, но достаточной для выявления характера обтекания зданий ветровым потоком.

Результаты исследования

Для изучения аэродинамических свойств разновысотного производственного корпуса ККЦ была поставлена серия экспериментов. Исследования на гидравлическом лотке проводились для случая аэрации цеха под действием ветра

(в изотермических условиях). Воздушный поток направлен под углом $\alpha = 90^\circ$ по отношению к продольной оси здания. Качественную картину обтекания здания наглядно иллюстрируют фотографии, приведенные на рис. 1 и 2.

Исследованы различные уклоны кровли над отделением непрерывной разливки стали: «малонаклонные» (рис. 1, а; 2, а), «с переломом» (рис. 1, б; 2, б), «крутоуклонные» (рис. 1, в; 2, в).

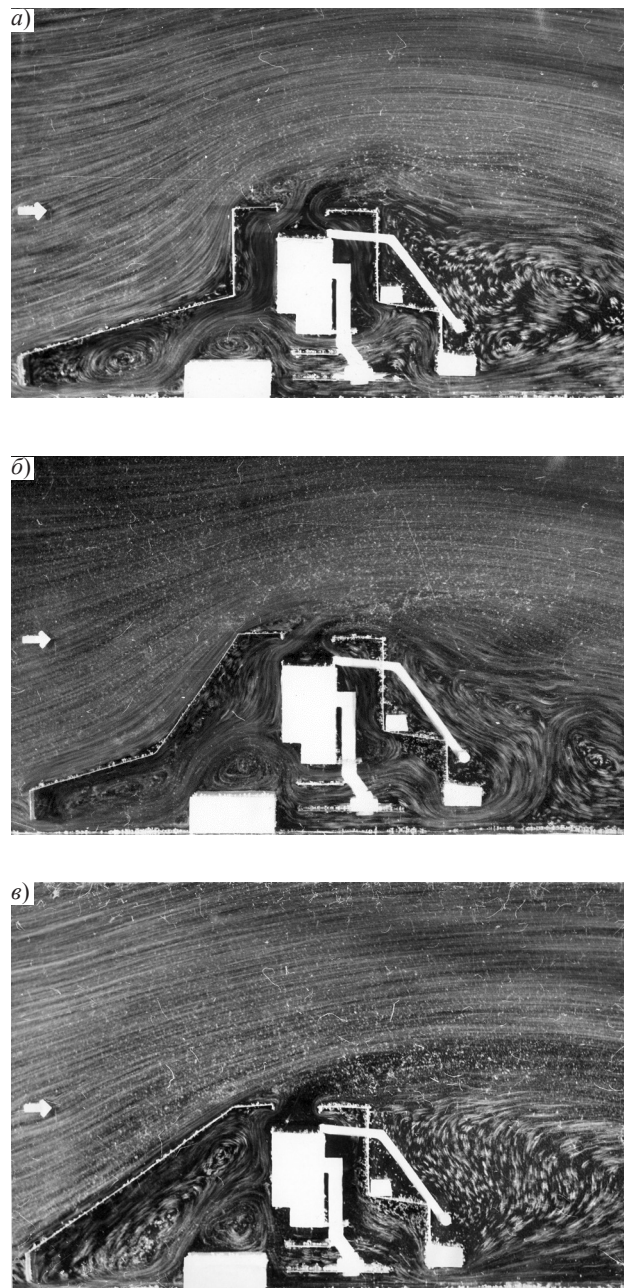


Рис. 1. Характер обтекания здания при направлении ветра 1 (направление потока показано стрелкой)

При направлении ветра от ОНРС к ККО (направление 1) выявлено преимущество малоуклонной кровли: аэродинамический скачок, образующийся при натекании ветрового потока на вертикальную стенку фонаря ОНРС (рис. 1, а), выше, чем при натекании на наклонную стенку фонаря (рис. 1, б) или крутоуклонную кровлю (рис. 1, в). При «малонаклонной» кровле потоки удаляемого воздуха из отделения непрерывной

разливки стали и кислородно-конвертерного отделения занимают примерно одинаковые сечения между фонарями (рис. 1, а). При устройстве кровли «с переломом» (рис. 1, б) и «крутоуклонной» (рис. 1, в) поток воздуха, выходящего через фонарь над ОНРС, стесняет воздушную струю из фонаря конвертерного отделения и занимает большую часть межфонарного пространства.

В цехе с «малонаклонным» углом кровли (рис. 1, а) объем, занимаемый циркуляционными токами в ОНРС, меньше, чем в случае устройства кровли «с переломом» и при «крутоуклонной» кровле.

При направлении ветра 1 зона ветровой тени состоит из двух зон. Зона 1 примыкает к заветренной стороне модели и на формирование этой зоны оказывает влияние аэрационный поток воздуха, проходящий через производственный корпус. Например, в пределах этой зоны при устройстве кровли «с переломом» (рис. 1, б) поток аэрационного воздуха из цеха настигается на наружную поверхность ограждений и подмешивается к основному потоку, обтекающему здание. Замкнутая циркуляционная зона 2 находится между границей зоны ветровой тени и зоной 1.

При направлении ветра от ККО к ОНРС (направление 2) объем цеха, занимаемый циркуляционными потоками в ОНРС, больше, чем при направлении 1. За зданием также образуются две циркуляционные зоны по вертикали.

Во всех исследованных случаях отмечаются устойчивые аэрационные потоки, формируемые под действием ветра в сблокированном цехе. Движение воздушного потока в цехе, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях.

Поскольку исследования выполнены для случая аэрации цеха только под действием ветра, то выводы носят предварительный характер и должны быть уточнены в ходе исследований аэрации под действием гравитационного давления.

Выводы

1. Для обеспечения стандартов качества воздуха на промплощадке, в жилой застройке и в производственных зданиях с аэрацией необходимо объединить решение внешней (оценка уровня загрязнения воздуха вблизи зданий) и внутренней (определение энергоэффективных воздухообменов) задач. Воздушная среда промышленной площадки должна рассматриваться

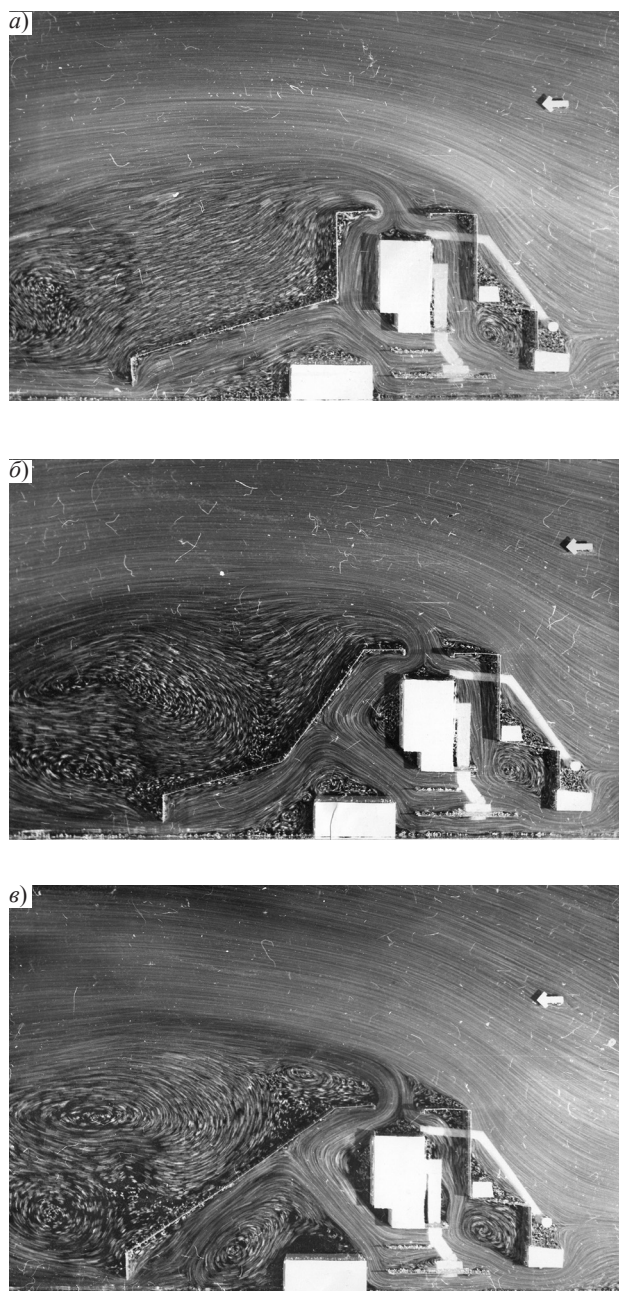


Рис. 2. Характер обтекания здания при направлении ветра 2 (направление потока показано стрелкой)

как единая динамическая система с воздушной средой производственных зданий.

2. Качественную картину обтекания воздушным потоком производственного здания с аэрацией, учесть влияние формы здания и различных объемно-планировочных решений цеха на аэрацию и зону ветровой тени позволяет моделирование аэродинамики здания в объемном гидравлическом лотке.

3. Установлено отличие характера обтекания воздушным потоком здания с аэрационными проемами и фонарями от зданий с непроницаемыми ограждениями.

4. Установлено, что независимо от направления ветра зона ветровой тени состоит из двух замкнутых циркуляционных потоков.

5. Во всех исследованных случаях отмечаются устойчивые аэрационные потоки, формируемые под действием ветра в заблокированном цехе, что позволяет обеспечить требуемые параметры воздуха на рабочих местах. Движение воздушного потока в цехе обеспечивается, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении.

6. Результаты моделирования в объемном гидравлическом лотке могут быть использованы для оценки результатов численного моделирования.

7. Выполненные исследования аэрации цеха только под действием ветра носят предварительный характер и результаты должны быть уточнены при учете гравитационного давления.

Литература

1. Дацюк, Т. А. (2009). Инженерные аспекты энергосбережения зданий. ACADEMIA, № 5, сс. 326–328.
2. Дацюк, Т. А., Васильев, В. Ф., Дерюгин, В. В., Ивлев, Ю. П. (2005). Новая технология проектирования систем обеспечения микроклимата зданий. Вестник гражданских инженеров, № 3(4), сс. 57–62.
3. Дацюк, Т. А., Васильев, В. Ф., Дерюгин, В. В., Ивлев, Ю. П. (2012). Расчет аэрации цехов с теплогазовыделениями. Сантехника, отопление, кондиционирование, № 1 (121), сс. 122–125.
4. Дацюк, Т. А., Дерюгин, В. В., Васильев, В. Ф., Ивлев, Ю. П. (2003). Анализ результатов физико-математического моделирования при решении задач промышленной вентиляции и охраны атмосферы. Известия высших учебных заведений. Строительство, № 9, сс. 95–99.
5. Дацюк, Т. А., Васильев, В. Ф., Ивлев Ю. П. (2004). Физико-математическое моделирование процессов вентиляции и рассеивания выбросов в атмосфере. Актуальные проблемы современного строительства. 56-я Международная научно-техническая конференция молодых ученых. Сборник докладов. Ч. II. СПбГАСУ. СПб., сс. 217–219.

6. Константинова, З. И. (1981). Защита воздушного бассейна от промышленных выбросов. М.: Стройиздат, 104 с.

7. Министерство регионального развития Российской Федерации (2011). Производственные здания. СП 56.13330.2011. М.: Минрегион России.

8. Минприроды России (2016). Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». М.: НИИ-Природа, 639 с.

9. Никитин, В. С., Максимкина, Н. Г., Самсонов, В. Т., Плотникова Л. В. (1980). Проветривание промышленных площадок и прилегающих к ним территорий. М.: Стройиздат, 200 с.

10. Поддаева, О. И., Дуничкин, И. В. (2017). Архитектурно-строительная аэродинамика. Вестник МГСУ, т. 12, № 6 (105), сс. 602–609.

11. Поддаева, О. И., Кубенин, А. С., Чуринов, П. С. (2015). Архитектурно-строительная аэродинамика. М.: НИУ МГСУ, 88 с.

12. Поляков, В. В., Латышенков, М. А. (1970). Исследование аэродинамики в объемном гидравлическом лотке. Вопросы тепловлажностного и воздушного режимов кондиционирования микроклимата, № 68, сс. 95–100.

13. Полушкин, В. И., Васильев, В. Ф., Титова, А. И. (2009). Вентиляция цехов с высоким теплонпряжением внутреннего объема. Вестник МАНЭБ. Периодический теоретический и научно-практический журнал, т. 14, № 1, сс. 47–52.

14. Реттер, Э. И. (1984). Архитектурно-строительная аэродинамика. М.: Стройиздат, 294 с.

15. Самсонов, В. Т. (2016). Проветривание промышленных площадок: Аэродинамические расчеты при проектировании вентиляционных выбросов. М.: Инфра-М, 172 с.

16. Серебровский, Ф. Л. (1985). Аэрация населенных мест. М.: Стройиздат, 172 с.

17. Daciuk, T. (2016). Forecasting of ecological situation in course of buildings' design. Architecture and Engineering, 1(2), pp. 19–22. Доступно по ссылке: <http://aej.spbgasu.ru/index.php/AE/article/view/12> (дата обращения: 23.10.2017).

References

1. Dacyuk, T. A. (2009). Inzhenernye aspekty ehnergoberezheniya zdaniy [Engineering aspects of energy saving buildings]. ACADEMIA, № 5, pp. 326–328. (in Russian)
2. Dacyuk, T. A., Vasilev, V. F., Deryugin, V. V., Ivlev, Yu. P. (2005). Novaya tekhnologiya proektirovaniya sistem obespecheniya mikroklimate zdaniy [New technology for designing systems to ensure the microclimate of buildings]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov, №3(4), pp. 57–62. (in Russian)
3. Dacyuk, T. A., Vasil'ev, V. F., Deryugin, V. V., Ivlev, Yu. P. (2012). Raschet aehracii cehov s teplogazovydeleniyami [Calculation of plant aeration with heat and gas emissions]. Santekhnika, otoplenie, kondicionirovanie, № 1 (121), pp. 122–125. (in Russian)
4. Dacyuk, T. A., Deryugin, V. V., Vasil'ev, V. F., Ivlev, Yu. P. (2003). Analiz rezul'tatov fiziko-matematicheskogo modelirovaniya pri reshenii zadach promyshlennoj ventilyacii i ohrany atmosfery [Analysis of the results of physical and mathematical modeling in solving problems of industrial ventilation and protection of the atmosphere.]. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo, № 9, pp. 95–99. (in Russian)

5. Dacyuk, T.A., Vasil'ev, V.F., Ivlev YU.P. (2004). Fiziko-matematicheskoe modelirovanie processov ventilyacii i rasseivaniya vybrosov v atmosphere [Physico-mathematical modeling of processes of ventilation and dispersion of atmospheric emissions]. Aktual'nye problemy sovremennogo stroitel'stva. 56-ya Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya molodyh uchenyh. Sbornik dokladov. Ch. II. SPbGASU. SPb. pp. 217–219. (in Russian)
6. Konstantinova, Z.I. (1981). Zashchita vozdušnogo bassejna ot promyshlennyh vybrosov [Protection of the air from industrial emissions]. M.: Strojizdat, 104 p. (in Russian)
7. Ministerstvo regional'nogo razvitiya Rossijskoj Federacii, (2011). Proizvodstvennye zdaniya [Industrial buildings]. SP 56.13330.2011. Moskva: Minregion Rossii.
8. Minprirody Rossii, (2016). Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii i ob ohrane okružhayushchej sredy Rossijskoj Federacii v 2015 godu» [State report «On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2015»]. M.: NIA-Priroda, 639 p. (in Russian)
9. Nikitin, V. S., Maksimkina, N. G., Samsonov, V. T., Plotnikova L. V. (1980). Provetrivanie promyshlennyh ploščadok i prilëgayushchih k nim territorij [Ventilation of industrial sites and adjacent areas]. M.: Strojizdat, 200 p. (in Russian)
10. Poddaeva, O. I., Dunichkin, I. V. (2017). Arhitekturno-stroitel'naya aehrodinamika [Architectural and construction aerodynamics]. Vestnik MGSU. T. 12. № 6 (105), pp. 602–609. (in Russian)
11. Poddaeva, O.I., Kubenin, A.S., CHurin, P.S. (2015). Arhitekturno-stroitel'naya aehrodinamika [Architectural and construction aerodynamics]. M.: NIU MGSU, 88 p. (in Russian)
12. Polyakov, V.V., Latyshenkov, M.A. (1970). Issledovanie aehrodinamiki v ob'emnom gidravlicheskom lotke [The study of aerodynamics in a volumetric hydraulic tray]. Voprosy teplovlazhnostnogo i vozdušnogo rezhimov kondicionirovaniya mikroklimata, №68. M.: Moskovskij inženerno-stroitel'nyj institut, pp. 95–100. (in Russian)
13. Polushkin, V.I., Vasil'ev, V.F., Titova, A.I. (2009). Ventilyaciya cekhov s vysokim teplotnapryazheniem vnutrennego objema [Ventilation of shops with high heat stress of internal volume]. Vestnik MANEHB. Periodicheskij teoreticheskij i nauchno-prakticheskij zhurnal. T. 14, № 1, SPb. pp. 47–52. (in Russian)
14. Retter, E. I. (1984). Arhitekturno-stroitel'naya aehrodinamika [Architectural and construction aerodynamics]. M.: Strojizdat, 294 p. (in Russian)
15. Samsonov, V. T. (2016). Provetrivanie promyshlennyh ploščadok: Aehrodinamicheskie rasčety pri proektirovanii ventilyacionnyh vybrosov [Ventilation of industrial sites: Aerodynamic calculations for the design of ventilation emissions]. M.: Infra-M, 172 p. (in Russian)
16. Serebrovskij, F. L. (1985). Aehraciya naseleennyh mest [Aeration of inhabited places]. M.: Strojizdat, 172 p. (in Russian)
17. Dateciuk, T. (2016). Forecasting of ecological situation in course of buildings' design. Architecture and Engineering, 1(2), pp. 19–22. Available at: <http://aej.spbgasu.ru/index.php/AE/article/view/12> (accessed on: 23.10.2017).

Автор

Владимир Филиппович Васильев, канд. техн. наук,
доцент
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-
строительный университет
E-mail: tgsov@spbgasu.ru

Author

Vladimir Filippovich Vasilijev, Ph. D. in Engineering
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil
Engineering
E-mail: tgsov@spbgasu.ru