

Инженерная геометрия и компьютерная графика. Цифровая поддержка жизненного цикла изделий Engineering geometry and computer graphics. Digital support for product lifecycle

Научная статья
УДК 514.85:004.942
DOI: 10.14529/build250208

АЛГОРИТМ ЦИФРОВОЙ ПОДДЕРЖКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МАЛОГАБАРИТНЫХ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК

О.И. Ведяйкина, П.А. Хазов[✉], С.С. Шилов

*Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет,
Нижний Новгород, Россия*

[✉] khazov.nngasu@mail.ru

Аннотация. Предлагается алгоритм, основанный на проведении компьютерного эксперимента и создании цифровых двойников малогабаритных аэродинамических труб для верификации результатов, физических экспериментов с использованием такого вида труб и их валидацией в задачах аэродинамики, а также с целью обеспечения цифровой поддержки их жизненного цикла при проведении модельных экспериментов в области, например, строительной аэродинамики. На основе полученных данных натурного эксперимента в аэродинамической установке с малой рабочей областью создается её цифровой двойник и выполняется компьютерное моделирование эксперимента над ней. Соблюдение точного геометрического подобия между физической трубой и её цифровой моделью позволяет получить высокую степень согласования результатов экспериментов, то есть близкие значения распределения ветровых потоков, их направлений и скоростей, что, в свою очередь, необходимо для создания эффективной методики верификации результатов экспериментов в аэродинамических трубах малых габаритов, в частности, при проектировании зданий и сооружений, и расчете строительных конструкций на ветровые нагрузки. Предложенный на основе полученных в статье результатов алгоритм цифровой поддержки позволяет обеспечить работоспособность малогабаритных аэродинамических экспериментальных установок.

Ключевые слова: аэродинамическая труба, компьютерное моделирование, цифровой двойник, строительная аэродинамика, аэродинамический эксперимент, малогабаритная аэродинамическая установка, цифровая поддержка

Для цитирования. Ведяйкина О.И., Хазов П.А., Шилов С.С. Алгоритм цифровой поддержки работоспособности малогабаритных аэродинамических экспериментальных установок // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2025. Т. 25, № 2. С. 62–71. DOI: 10.14529/build250208

Original article
DOI: 10.14529/build250208

AN ALGORITHM FOR THE DIGITAL SUPPORT OF THE PERFORMANCE OF SMALL-SIZED AERODYNAMIC EXPERIMENTAL SETUPS

O.I. Vediaikina, P.A. Khazov[✉], S.S. Shilov

*Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering,
Nizhny Novgorod, Russia*

[✉] khazov.nngasu@mail.ru

Abstract. The paper considers the use of computer experiments and digital twinning of small-sized wind tunnels to verify the results obtained during physical experiments using this type of tunnels and their validation in aerodynamic problems, as well as to ensure the digital support of their life cycle when conducting model experiments in such fields

© Ведяйкина О.И., Хазов П.А., Шилов С.С., 2025.

as structural aerodynamics. The data obtained from a full-scale experiment are used to create a digital twin in an aerodynamic setup with a small working area, as well as to perform the computer simulation of the experiment thereon. The exact geometric similarity between the physical tunnel and its digital model allows obtaining highly consistent experimental results, i.e., close values of the distribution of wind flows, their directions and velocities. In turn, it is necessary for the development of an effective methodology for verifying experimental results in small-sized wind tunnels, in particular, when designing buildings and structures and calculating building structures for wind loads. Based on the obtained results, an algorithm is proposed for the digital support of the performance of small-sized aerodynamic experimental setups.

Keywords: wind tunnel, computer simulation, digital twin, construction aerodynamics, aerodynamic experiment, small-sized aerodynamic setup, digital support

For citation. Vediaikina O.I., Khazov P.A., Shilov S.S. An algorithm for the digital support of the performance of small-sized aerodynamic experimental setups. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2025;25(2):62–71. (in Russ.). DOI: 10.14529/build250208

Введение. Эксперимент представляет собой один из ключевых методов научных исследований, однако при этом возникает проблема невозможности учета всех погрешностей и неточностей, особенно если речь идет о модельных экспериментах. Для уменьшения влияния вышеописанных факторов видится необходимой разработка алгоритмов и методов цифровой поддержки жизненного цикла экспериментальных установок, для чего над их точными компьютерными копиями должны проводиться вычислительные эксперименты, результаты которых могут быть учтены в комплексной методике расчета, нивелирующей погрешности физического испытания.

При проектировании зданий и сооружений сложной геометрической формы актуальным является вопрос корректной оценки аэродинамической нагрузки при взаимодействии с атмосферой [1–6]. Нормативные методики [7, 8] не всегда позволяют корректно провести полноценный учет ветровых воздействий [9], что приводит к необходимости проведения физических и компьютерных экспериментов, и, следовательно, к созданию точных масштабных копий проектируемых зданий [10–13].

Формообразование объектов сложной геометрической формы является первостепенным пунктом при изучении аэродинамических взаимодействий, анализе ветровых нагрузок и прочих задачах архитектурно-строительной аэродинамики. В классической аэродинамике геометрическое подобие не является подобием аэродинамическим ввиду необходимости соблюдения подобия чисел Рейнольдса модели и проектируемого здания. При этом в строительной аэродинамике исследование проводится при малых скоростях ветрового потока, в результате чего отношение чисел Рейнольдса пропорционально линейному масштабу моделирования, т. е. геометрическое подобие практически гарантирует аэродинамическое.

Физический эксперимент на ветровые нагрузки проводится над точными геометрическими копиями проектируемых объектов в аэродинамических трубах. Использование крупногабаритных аэродинамических труб обеспечивает высокую достоверность результатов эксперимента [14]. При

этом такие установки являются сложными инженерными объектами, занимающими большие площади и требующими крупных материальных затрат. Аналогом крупногабаритных труб являются трубы малого диаметра, но вследствие их размера такие трубы ограничены в мощности [15]. Ветровой поток в них менее равномерный, в результате чего появляются неточности в результатах эксперимента, из-за которых труба считается неприменимой. Целью исследования является создание цифрового двойника, который позволит не только констатировать несовершенства работы, но и визуализировать их, а также качественно и количественно оценить возникающие в трубах малых габаритов недостатки. Цифровым двойником будет являться виртуальный прототип реальной установки, который полностью имитирует её характеристики и внутренние процессы. При этом в данном случае точная цифровая копия создается для аэродинамической трубы и происходящих в ней аэродинамических процессов во время проведения физических экспериментов, а не для полномасштабных зданий и сооружений, как в большинстве задач компьютерного моделирования.

Таким образом, для обеспечения жизненного цикла таких труб возникает необходимость оценки искажений результатов и их учета в дальнейшем расчете с помощью поправочных коэффициентов. Компьютерное моделирование дает возможность проведения цифровой поддержки и обеспечения эксплуатации изучаемой экспериментальной установки.

Материалы и методы. В настоящей статье исследуется установка для проведения аэродинамических испытаний: аэродинамическая труба лаборатории кафедры «Отопление и вентиляция» ННГАСУ (рис. 1), которая относится к вертикальным малогабаритным дозвуковым аэродинамическим трубам с открытой рабочей областью.

Диаметр основного канала составляет 1000 мм; диаметр выходного сечения – 400 мм; длина рабочей области – около 1200 мм (рис. 2). Общие габариты установки: высота – 3100 мм, ширина – 4400 мм. Скорость ветрового потока, создаваемого осевым вентилятором трубы, – до 12 м/с.



Рис. 1. Аэродинамическая труба малого диаметра:
1 – выходное сечение; 2 – входное сечение; 3 – подмакетник

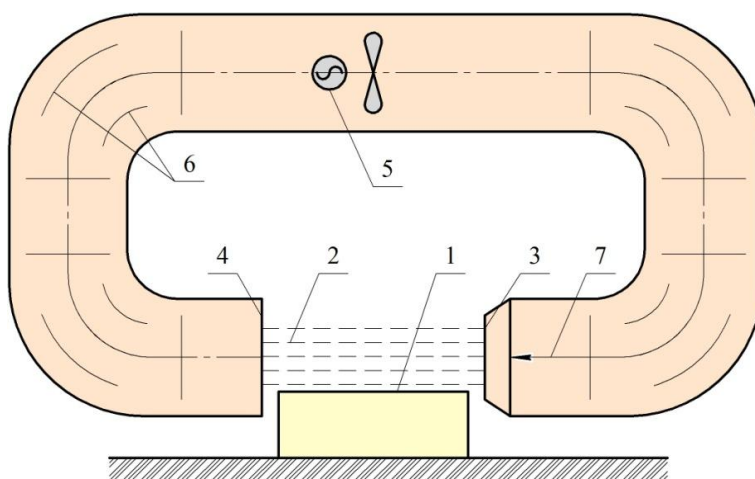


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 – подмакетник; 2 – рабочая область; 3 – выходное сечение; 4 – входное сечение; 5 – аэродинамическая труба с осевым вентилятором; 6 – направляющие ребра; 7 – направление ветрового потока

Экспериментальное исследование аэродинамической трубы проводилось без установленных макетов зданий и сооружений в рабочую область с целью изучения распределения выдуваемых ветровых потоков и оценки их потерь, так как трубы с открытой рабочей зоной характеризуются появлением нежелательной циркуляции воздуха и высокой степенью турбулентности.

Измерения производились в плоскости выходного и входного сечения аэродинамической трубы, а также в различных точках рабочей области электронным термоанемометром Testo 405v1.

Следующим этапом исследования аэродинамической трубы является создание цифрового двойника (рис. 3) на основании натурных измерений её рабочих показателей, с точным геометриче-

ским соблюдением выходного и входного отверстия трубы и конструкции подмакетника так, чтобы двойник полностью имитировал характеристики установки и её процессы.

Для получения наиболее достоверных результатов при создании точной копии аэродинамической трубы также учитывались основные геометрические особенности и несовершенства установки, например, небольшое отклонение в параллельности плоскостей входного и выходного отверстий (рис. 3, а).

Создание максимально приближенной копии трубы и последующая дискретизация окружающего пространства позволяют считать полученную модель цифровым двойником, моделирование процессов над которым позволяет выполнять ва-

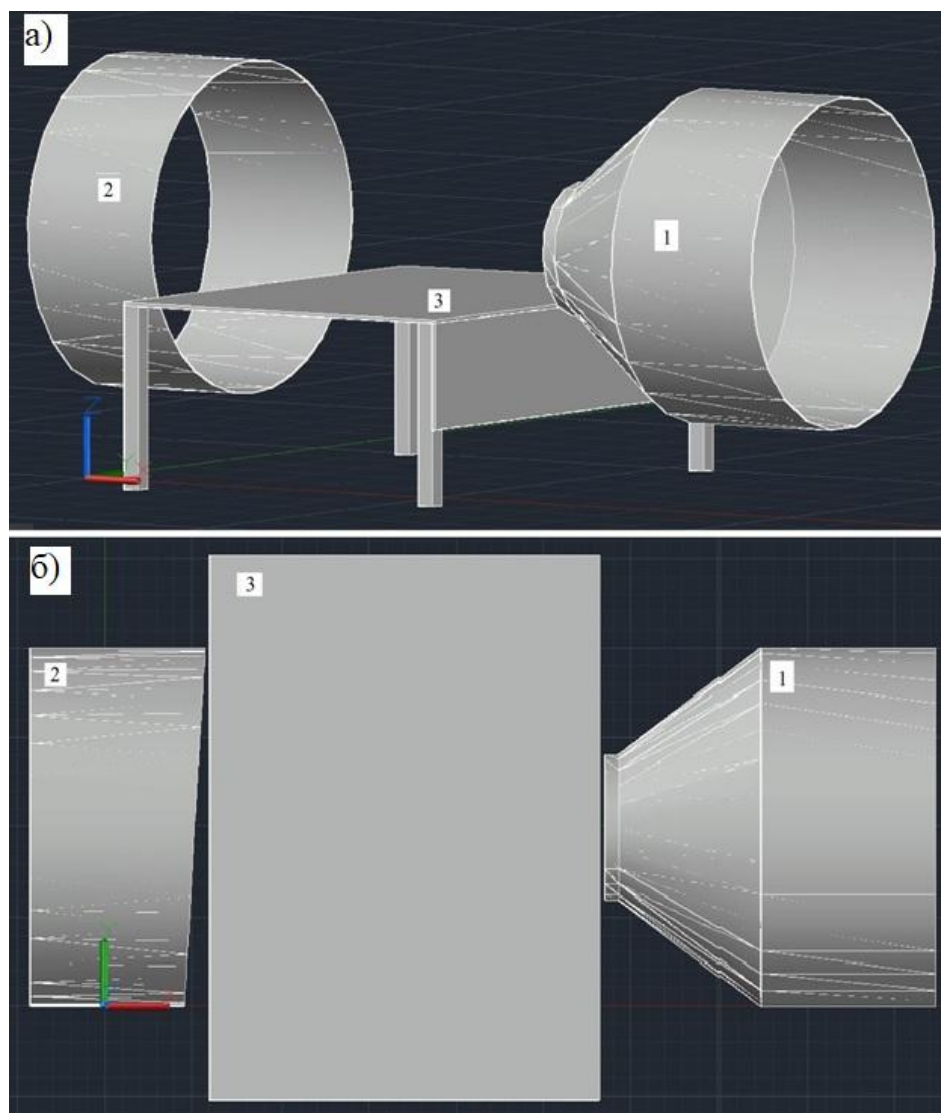


Рис. 3. Геометрическая модель для создания цифрового двойника аэродинамической трубы:
а – общий вид, б – вид сверху: 1 – выходное сечение; 2 – входное сечение; 3 – подмакетник

лидацию и обеспечивает цифровую поддержку изучаемой аэродинамической установки.

Компьютерное моделирование аэродинамического эксперимента проводилось в программном комплексе ANSYS с использованием модуля вычислительной гидрогазодинамики ANSYS CFX [16–18], препроцессора ANSYS Meshing и рабочей среды программного обеспечения ANSYS Workbench. Для выполнения моделирования задавались граничные условия:

- размер моделируемой области: по высоте ограничивается полом и нижней поверхностью верхней части трубы; по ширине – к размеру рабочей области добавлены стомиллиметровые выпуски трубы; по длине – с двух сторон от подмакетника добавлено по 500 мм;

- все твердые изучаемые поверхности имеют условие «непротекания», при котором обеспечивается свободное проскальзывание воздушных потоков вдоль этих поверхностей;

- вход воздушных потоков в моделируемую область осуществляется через сечение выходной части аэродинамической трубы и имеют начальную скорость 10 м/с (модуль скорости принят по результатам экспериментальных замеров);

- выход воздушных потоков осуществляется через поперечное сечение во входной части трубы и по всей поверхности вокруг неё, где назначается граничное условие отсутствия избыточного давления;

- на остальных поверхностях задаются условия, не влияющие на распределение ветровых потоков;

- расчетная сетка формируется со сгущением к поверхностям выпусков трубы и подмакетника.

Результаты исследования. По результатам натурных замеров были построены изополя распределения потоков в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (рис. 4, 5).

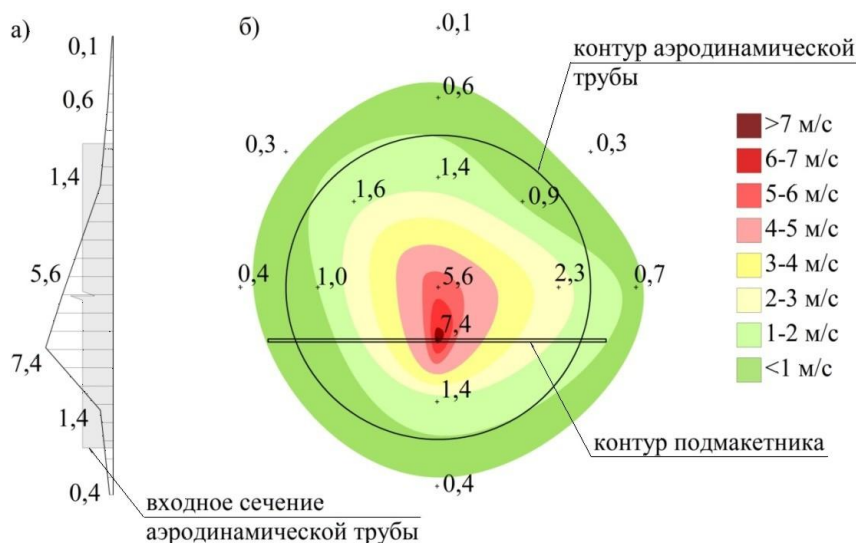


Рис. 4. Профиль (а) и изополя (б) распределения ветровых потоков во входном сечении аэродинамической трубы

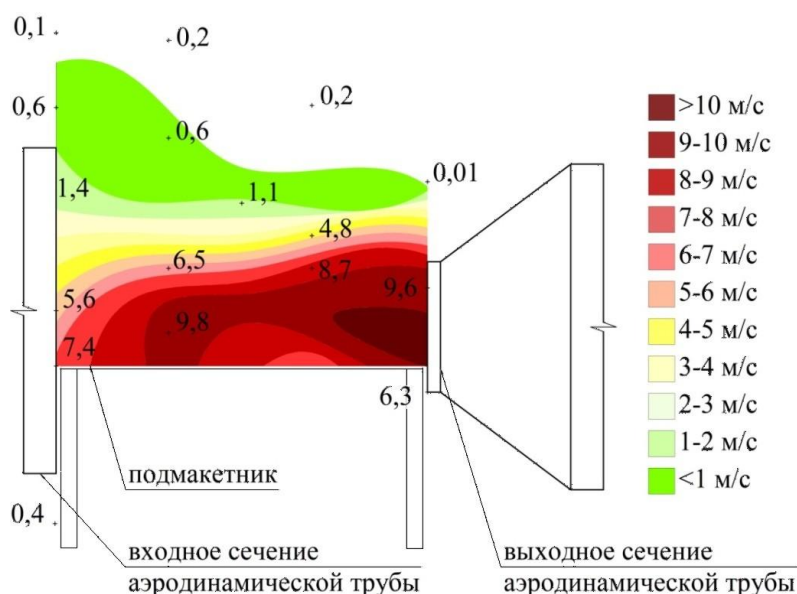


Рис. 5. Распределение ветровых потоков по центральной вертикальной плоскости рабочей области аэродинамической трубы

Распределение основной части ветровых потоков происходит вблизи поверхности подмакетника. Полученные результаты объясняют высокую сходимость результатов физического и компьютерного экспериментов большепролетных зданий [19–21], а также подтверждают неточности при сопоставлении данных для высотных зданий [22], так как компьютерное моделирование здания воссоздает воздействия на него в условиях «натурного» эксперимента, в то время как масштабные геометрические копии выходят за пределы однородного распределения ветрового потока в рабочей области аэродинамической установки.

Проведенное компьютерное моделирование распределения ветровых потоков в цифровом

двойнике аэродинамической трубы показало достаточно близкие результаты с проведенным физическим экспериментом (рис. 6, 7).

По распределению векторов скоростей в центральной вертикальной плоскости определяется снижение их модулей по высоте и при приближении к входному отверстию трубы (см. рис. 6). При столкновении со стенкой подмакетника часть потоков устремляется вниз, что также подтверждается измеренной анемометром скоростью (см. рис. 5).

Оценивая распределение векторов скорости в параллельных плоскостях на поверхности стола – подмакетника (рис. 7, а) и выше (рис. 7, б), результаты компьютерного исследования оказываются

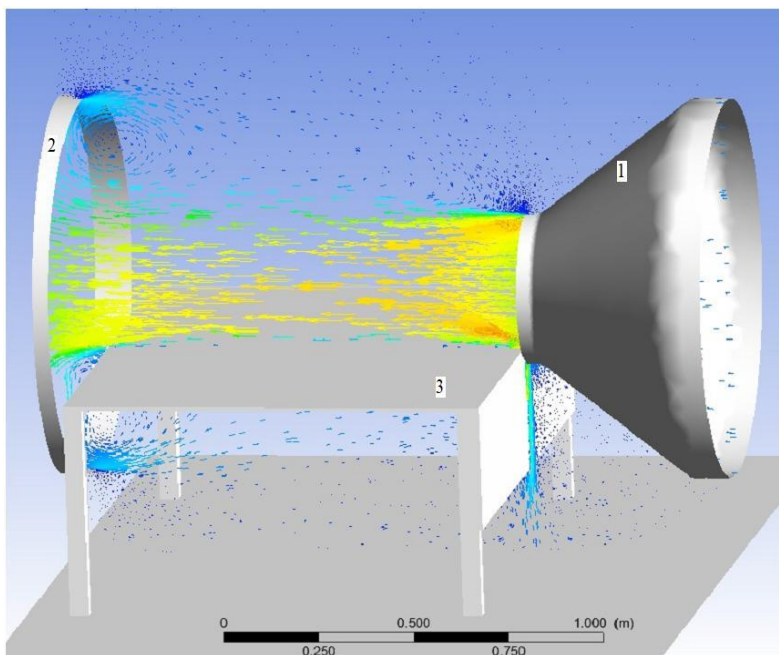


Рис. 6. Распределение ветровых потоков по центральной вертикальной плоскости в рабочей области аэродинамической трубы: 1 – выходное сечение; 2 – входное сечение; 3 – подмакетник

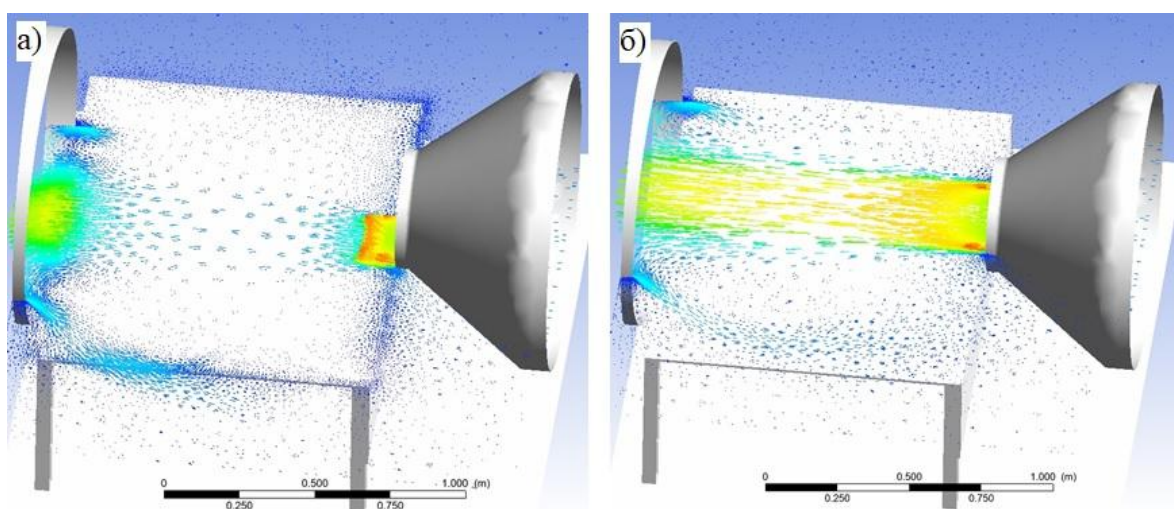


Рис. 7. Распределение ветровых потоков на поверхности подмакетника (а), в горизонтальной плоскости выше (б)

сопоставимы с ранее полученными экспериментальными данными. Наибольшая скорость потока наблюдается при столкновении с поверхностью подмакетника, далее участок небольшого затухания скорости и снова её увеличения. Повторяется волновое движение потока, полученное экспериментально.

Полученные результаты дают возможность всесторонне проанализировать распределение ветровых потоков в аэродинамической трубе, что позволит в дальнейшем провести верификацию данных модельных экспериментов в ней для оценки и создания методики учета погрешностей по разработанному алгоритму (рис. 8).

Выводы

Аэродинамические установки с открытой рабочей областью предполагают расширение ветрового потока, а значит, циркуляцию потоков в помещении и возникновение сторонних, искажающих измерения вихревых потоков. Результаты натурного эксперимента показали, что поток остается достаточно однородным по рабочей области, а скорости потоков за её пределами резко снижаются до нуля.

Для проведения компьютерного эксперимента необходимо точное соблюдение геометрических аспектов, как непосредственно применяемых моделей, так и изучаемых аэродинамических процессов, например, возникновения завихрений в ре-

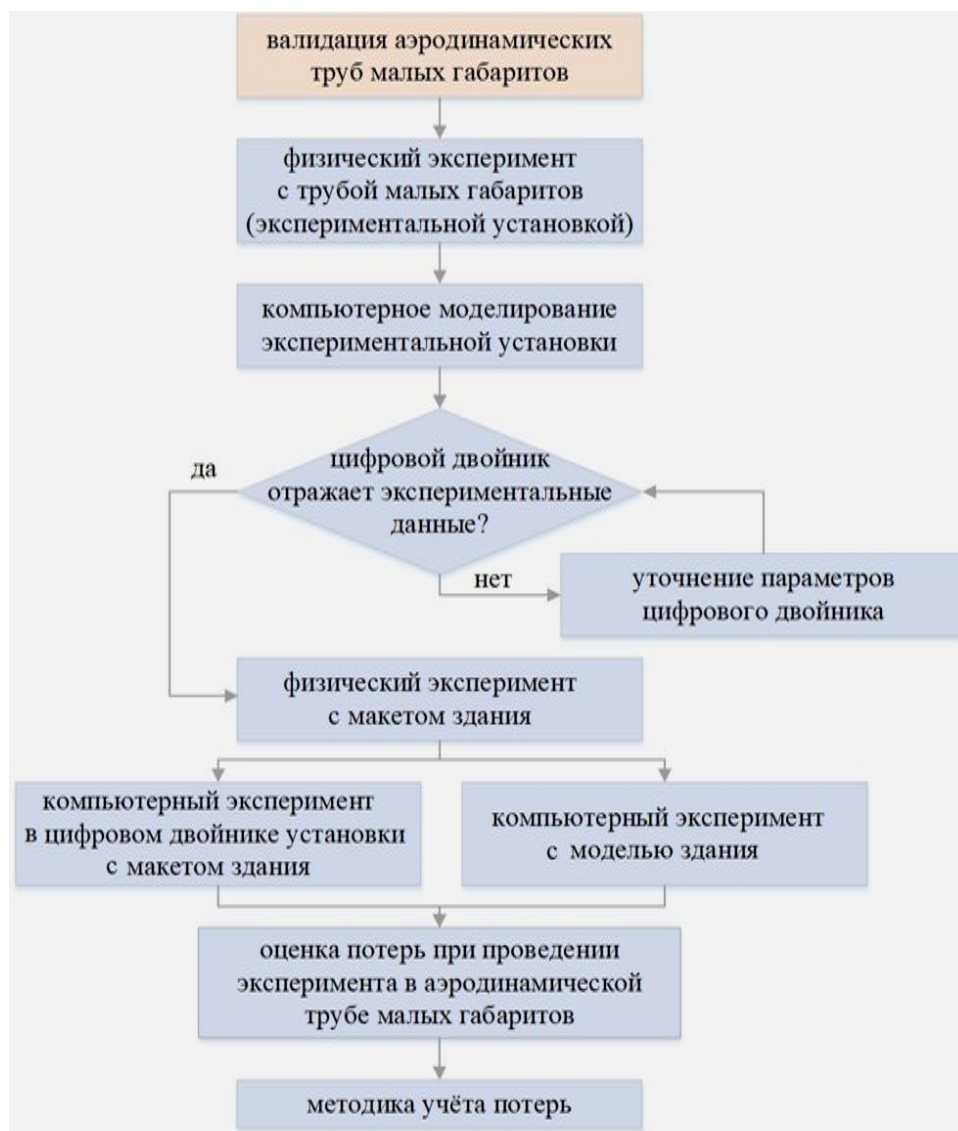


Рис. 8. Алгоритм цифровой поддержки в разработке методики валидации малогабаритных аэродинамических труб

зультате сложной геометрической формы. Создание точной цифровой копии аэродинамической установки при проведении компьютерного эксперимента позволило получить данные, подобные экспериментальным, визуализировать возникающие ветровые потоки и некоторые недостатки в работе труб малых габаритов.

Создание цифрового двойника аэродинамической установки позволило получить результаты, которые можно использовать при дальнейших

проведениях экспериментов с установкой масштабных геометрических моделей в рабочей области аэродинамической трубы и создании их цифровых копий для виртуального прототипа в компьютерном эксперименте. Исследование дает возможность оценить качественно и количественно возникающие погрешности измерений, на основании которых могут быть введены поправочные расчетные коэффициенты и разработана методика их учета (см. рис. 8).

Список литературы

1. Симиу Э., Сканлан Р. Воздействия ветра на здания и сооружения. М.: Стройиздат, 1984. 360 с.
2. Valger S.A., Fedorova N.N., Fedorov A.V. Numerical study of interference effects in atmospheric air flow past a group of intricately shaped buildings // Thermophysics and Aeromechanics. 2017. Vol. 24, no. 1, pp. 35–44.
3. Вопросы применения современных компьютерных технологий для решения практических задач строительной аэродинамики / В.Г. Гагарин, С.В. Гувернюк, А.С. Кубенин, А.А. Синявин // Вестник Отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук. 2014. Т. 18. С. 151–156.

4. Реттер Э.И., Стриженов С.И. Аэродинамика зданий. М.: Стройиздат, 1968. 240 с.
5. Сорокина Е.А. Проектирование и анализ существующих конструкций с применением современных математических методов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 6. С. 127–129.
6. Ким Д.А. Анализ ветрового воздействия на здания и сооружения // Инженерный вестник Дона. 2020. № 12 (72). С. 431–441.
7. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. М.: Минстрой России, 2016. 80 с.
8. ГОСТ Р 56728–2015. Здания и сооружения. Методика определения ветровых нагрузок на ограждающие конструкции. М.: Стандартинформ, 2016. 12 с.
9. Саленко С.Д., Гостеев Ю.А. К оценке ветровых воздействий на сооружения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2015. № 1 (673). С. 108–113.
10. Хазов П.А., Мольков А.С., Молева А.А. Экспериментальная и численная аэродинамика купольной конструкции в форме шестигранной пирамиды // Приволжский научный журнал. 2023. № 4. С. 153–160.
11. Помелов В.Ю., Грибач Д.С., Чуринов П.С. Методы макетирования высотных и уникальных зданий и сооружений для проведения аэродинамических испытаний // Строительство и реконструкция. 2016. № 3 (65). С. 56–60.
12. Анализ влияния масштабного фактора на результаты моделирования обтекания зданий / Д.А. Дектерев, А.С. Лобасов, В.Д. Мешкова и др. // Теплофизика и аэромеханика. 2023. Т. 30, № 6. С. 1197–1204.
13. Оленьков В.Д., Колмогорова А.О., Замула М.Д. Учёт ветрового режима при проектировании жилой застройки // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2023. Т. 23, № 3. С. 5–13.
14. Анализ некоторых результатов по определению аэродинамических характеристик высотных зданий / А.С. Гузеев, А.И. Короткин, А.О. Лебедев и др. // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 3. С. 50–52.
15. Экспериментальное исследование ветрового воздействия на строительные конструкции в аэродинамической трубе с малой рабочей частью / О.И. Поддаева, А.Н. Федосова, С.А. Саврасов, А.Т. Каграманян // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 5. С. 140–143.
16. Басов К.А. ANSYS для конструкторов. М.: ДМК Пресс, 2016. 248 с.
17. Газаров А.Р. Применение программного обеспечения ANSYS для выявления аэродинамических характеристик зданий // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 11. С. 344–347.
18. Газаров А.Р. Применение метода конечных элементов для исследования аэродинамики зданий // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 6. С. 282–284.
19. Сатанов А.А., Симонов А.В., Хазов П.А. Определение аэродинамических характеристик большепролетного здания экспериментальными методами // Строительная механика и конструкции. 2023. № 1(36). С. 63–74.
20. Экспериментальное исследование распределения ветровой нагрузки на поверхность большепролетного здания / П.А. Хазов, А.В. Февральских, Б.Б. Лампси и др. // Приволжский научный журнал. 2019. № 2. С. 9–16.
21. Шилов С.С. Аэродинамические исследования большепролетных покрытий // XXVI Нижегородская сессия молодых ученых (технические, естественные науки). Материалы конференции. Нижний Новгород, 2021, С. 158–162.
22. Экспериментальное исследование распределения аэродинамических коэффициентов на высотное здание / А.А. Сатанов, М.Л. Поздеев, А.В. Симонов и др. // Приволжский научный журнал. 2022. № 3. С. 43–51.

References

1. Simiu E., Skanlan R. *Vozdejstviya vetra na zdaniya i sooruzheniya* [Effects of wind on buildings and structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1984. 360 p. (in Russ.)
2. Valger S.A., Fedorova N.N., Fedorov A.V. Numerical study of interference effects in atmospheric air flow past a group of intricately shaped buildings. *Thermophysics and Aeromechanics*, 2017, vol. 24, no. 1, pp. 35–44.
3. Gagarin V.G., Guvernuyuk S.V., Kubenin A.S., Sinyavin A.A. [Issues of application of modern computer technologies for solving practical problems of building aerodynamics]. *Vestnik otdeleniya stroitel'nykh nauk Rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk* [Bulletin of the Department of Building Sciences of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences], 2014, vol. 18, pp. 151–156. (in Russ.)
4. Retter E.I., Strizhenov S.I. *Aerodinamika zdaniy* [Building aerodynamics]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1968. 240 p. (in Russ.)

5. Sorokina E.A. [Design and analysis of existing structures using modern mathematical methods]. *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Tekhnicheskie Nauki* [Proceedings of Tula State University. Technical sciences], 2020, no. 6, pp. 127–129. (in Russ.)
6. Kim D.A. [Analysis of wind effects on buildings and structures]. *Inzhenernyj vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2020, no. 12 (72), pp. 431–441. (in Russ.)
7. SP 20.13330.2016. Nagruzki i vozdeystviya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07-85*[Loads and actions. Updated edition of SNiP 2.01.07-85*]. Moscow: Ministry of Construction of Russia, 2016. 80 p. (in Russ.)
8. GOST R 56728–2015. *Zdaniya i sooruzheniya. Metodika opredeleniya vetrovykh nagruzok na ograzhdayushchie konstruksii* [GOST R 56728–2015 Buildings and constructions. Method for determining wind loads on the building envelope]. Moscow: Standartinform Publ.; 2016. 12 pp. (in Russ.)
9. Salenko S.D., Gosteev Yu.A. [Assessment of wind impacts on structures]. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction], 2015, no. 1 (673), pp. 108–113. (in Russ.)
10. Khazov P.A., Mol'kov A.S., Moleva A.A. [Experimental and numerical aerodynamics of a Dome structure in the shape of a hexagonal pyramid]. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal], 2023, no. 4, pp. 153–160. (in Russ.)
11. Pomelov V.Yu., Gribach D.S., Churin P.S. [Methods of mock-up of high-rise and unique buildings and structures for conducting aerodynamic tests]. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya* [Construction and Reconstruction], 2016, no. 3(65), pp. 56–60. (in Russ.)
12. Dekterev D.A., Lobasov A.S., Meshkova V.D., Litvincev K.Yu., Dekterev A.A., Dekterev A.A. [Analysis of the influence of the scale factor on the results of modeling the flow around buildings]. *Teplofizika i aeromekhanika* [Thermophysics and Aeromechanics], 2023, vol. 30, no. 6, pp. 1197–1204. (in Russ.)
13. Olen'kov V.D., Kolmogorova A.O., Zamula M.D. [Consideration of the wind regime in the design of residential buildings]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 2023, vol. 23, no. 3, pp. 5–13. (in Russ.)
14. Guzeev A.S., Korotkin A.I., Lebedev A.O., Rogovoy Yu.A., Krylova A.N. [Analysis of some results on determining the aerodynamic characteristics of high-rise buildings]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Civil Engineering Magazine], 2009, no. 3, pp. 50–52. (in Russ.)
15. Poddaeva O.I., Fedosova A.N., Savrasov S.A., Kagramanyan A.T. [Experimental study of wind effects on building structures in a wind tunnel with a small working part]. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya* [Scientific and Technical Bulletin of the Volga region], 2018, no. 5, pp. 140–143. (in Russ.)
16. Basov K.A. *ANSYS dlya konstruktorov* [ANSYS for constructors]. Moscow, DMK Press, 2016. 248 p. (in Russ.)
17. Gazarov A.R. [The use of Ansys software to identify the aerodynamic characteristics of buildings]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of Tula State University. Technical sciences], 2020, no. 11, pp. 344–347. (in Russ.)
18. Gazarov A.R. [Application of the finite element method for the study of building aerodynamics]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of Tula State University. Technical sciences], 2020, no. 6, pp. 282–284. (in Russ.)
19. Satanov A.A., Simonov A.V., Khazov P.A. [Determination of aerodynamic characteristics of a large-span building by experimental methods]. *Stroitel'naya mekhanika i konstruksii* [Construction Mechanics and Structures], 2023, no. 1(36), pp. 63–74. (in Russ.)
20. Khazov P.A., Fevral'skikh A.V., Lampy B.B., Shchelokova Yu.D., Anushchenko A.M. [Experimental study of the distribution of wind load on the surface of a large-span building]. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal], 2019, no. 2, pp. 9–16. (in Russ.)
21. Shilov S.S. [Aerodynamic studies of large-span coatings]. *XXVI Nizhegorodskaya sessiya molodyh uchenykh (tekhnicheskie, estestvennye nauki). Materialy konferencii* [XXVI Nizhny Novgorod session of Young Scientists (technical, natural sciences). Conference materials]. Nizhnij Novgorod, 2021, pp. 158–162. (in Russ.)
22. Satanov A.A., Pozdeev M.L., Simonov A.V., Pomazov A.P., Khazov P.A. [Experimental study of the distribution of aerodynamic coefficients on a high-rise building]. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal], 2022, no. 3, pp. 43–51. (in Russ.)

Информация об авторах:

Ведайкина Ольга Ивановна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики и теоретической механики, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, Россия; razvnauki@rambler.ru

Хазов Павел Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теории сооружений и технической механики, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, Россия; khazov.nngasu@mail.ru

Шилов Сергей Сергеевич, аспирант кафедры теории сооружений и технической механики, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, Россия; sergey.shilov.1997@mail.ru

Information about the authors:

Olga I. Vediaikina, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of General Physics and Theoretical Mechanics, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia; razvnauki@rambler.ru

Pavel A. Khazov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of the Theory of Structures and Technical Mechanics, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia; khazov.nngasu@mail.ru

Sergey S. Shilov, postgraduate student of the Department of the Theory of Structures and Technical Mechanics, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia; sergey.shilov.1997@mail.ru

Статья поступила в редакцию 16.01.2025, принята к публикации 24.01.2025.

The article was submitted 16.01.2025, approved after reviewing 24.01.2025.