

На правах рукописи

Бутова Алла Павловна

Влияние ветрового давления на потери тепла зданий массового строительства, расположенных в застройках различной конфигурации

05.23.01 - строительные конструкции, здания и сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Макеевка – 2021

Работа выполнена на кафедре проектирования зданий и строительной физики Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка.

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент
Лозинский Эдуард Александрович,
ГОУ ВПО «Донбасская национальная
академия строительства и архитектуры»,
декан строительного факультета.

Официальные оппоненты:

Ведущая организация:

Защита состоится «__» _____ 2022 года в __ часов на заседании диссертационного совета Д 01.006.02 при ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» по адресу: 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, зал заседаний ученого совета. Тел. факс: +38-062-343-7033, e-mail: d01.006.02@donnasa.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» по адресу: 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2 (<http://donnasa.ru>).

Автореферат разослан «__» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного
совета Д 01.006.02

Лахтарина Сергей Викторович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время во многих странах одним из приоритетных направлений развития экономики является энергосбережение. Федеральная программа «Энергосбережение России» предусматривает рост энергопотребления экономики страны к 2025 году более чем в 2 раза и снижение энергоемкости экономики России примерно на 50%.

В свете современных мероприятий по реновации жилья и уплотнению существующей застройки особое внимание следует уделить аэродинамическим характеристикам зданий массового строительства, расположенных в застройках различной конфигурации, в частности влиянию расположения проектируемых зданий на теплозащитные свойства существующих.

Вопросы экономии топлива, затрачиваемого на обогрев помещений, можно изложить в нескольких основных направлениях, но наиболее актуальным, наряду с оптимизацией архитектурно-конструктивных решений ограждающих конструкций зданий, является уточнение ветровой нагрузки для оптимизации расчета тепловых потерь гражданских зданий.

Исходя из этого, необходимо уточнить существующую методику определения теплопотерь через ограждающие конструкции с учетом конфигурации застройки.

Степень разработанности темы исследования

Основополагающие сведения по теории архитектурно-строительной аэродинамики и методикам по определению ветровых нагрузок на здания и сооружения представлены в работах Э. И. Реттера, E. Simiu, R. H. Scanlan, T. Lawson. Методы экспериментального моделирования ветрового потока на здания и сооружения в аэродинамической трубе приведены в работах Е. В. Горохова, С. Г. Кузнецова, Р. Н. Павловского, Э. А. Лозинского. В работах В. Ф. Муцанова, О. М. Белоцерковского представлены исследования, посвященные численному моделированию ветровых воздействий.

В исследованиях В. Ф. Губаря, И. Г. Гевлич, М. А. Никулина и Н. В. Тимофеева рассмотрены вопросы моделирования воздушных течений в приземной плоскости застройки с одинаковой высотой зданий. Вопросами численного моделирования ветрового воздействия на отдельно стоящее высотное здание занимались J. C. R. Hunt, D. M. Summers и A. C. Hansen. Однако в работах вышеперечисленных авторов не исследован фактор потерь тепла от действия ветра на здания, расположенные в застройке различной конфигурации. Более того, методики формирования территории застройки не учитывают влияния ветровой нагрузки, что может минимизировать потери тепла в соответствии с нормативными требованиями.

Связь работы с научными программами, планами, темами

Основные исследования теоретического и прикладного характера выполнены в рамках научных проектов Европейского фонда регионального развития CZ.1.05/1.1.00/02.0060 (грант № 14.-12892S) и Министерства образования, молодежи и спорта Чешской республики NPU I (грант № SADeCET LO12). Исследования выполнены в Центре наследия Тельч (Centre Excellence Telč, Czech Republic) Института прикладной и теоретической механики (ЦНТ).

Основные прикладные разработки были реализованы при выполнении госбюджетных тем:

1. Д-2013-18 «Оптимизация показателей комфортности внутренней среды гражданских зданий» (№ 0107U000097) ГО ВПО Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского (ДонНУ ЭТ);

2. К-2-02-06 «Разработка рекомендаций по местным правилам застройки» (№ 0107U000097) УНТЛ "Градостроительство" Донбасская национальная академия строительства и архитектуры («ДОННАСА»);

3. №0117 D 000217 "Разработка концепции создания социального жилья и восстановление объектов инфраструктуры на территориях пострадавших от военных действий" ГОУ ВПО "Донбасская национальная академия строительства и архитектуры («ДОННАСА»);

4. К-2-02-21: «Повышение энергоэффективности ограждающих конструкций» ГОУ ВПО "Донбасская национальная академия строительства и архитектуры («ДОННАСА»).

Автор диссертации является соисполнителем указанных тем. Часть исследований по теме диссертации выполнены в хоздоговорных работах «ДОННАСА» и ДонНУЭТ.

Цель работы: изучение влияния ветровой нагрузки на здания массового строительства, расположенные в застройках различной конфигурации для усовершенствования инженерной методики расчета потерь тепла.

Задачи исследования:

- Выполнить анализ классификации существующих форм застроек, методик расчета потерь тепла в гражданских зданиях, результаты экспериментальных и теоретических исследований ветровых воздействий на здания и сооружения в условиях их взаимодействия, методик моделирования приземно-пограничного слоя атмосферы в аэродинамических трубах;
- выполнить моделирование физических процессов ветровой нагрузки в аэродинамической трубе ЦНТ;
- выполнить экспериментальные исследования влияния действия ветрового потока на гражданское здание, расположенное в застройке различной конфигурации;
- разработать математическую модель аэродинамических процессов с целью изучения обтекания ветровым потоком гражданского здания, расположенного в застройке различной конфигурации;
- внедрить результаты экспериментальных исследований и математического моделирования ветровой нагрузки, возникающей при обтекании ветровым потоком застройки различной конфигурации, в инженерную методику расчета потерь тепла в зданиях массового строительства.

Объект исследования – гражданское здание массового строительства, расположенное в застройках различной конфигурации подвергнутое действию ветрового потока.

Предмет исследования – параметры ветрового потока, формирующегося в застройках различной конфигурации, и его влияние на теплопотери здания.

Научную новизну полученных результатов составляют:

- развитие методики моделирования физических процессов в аэродинамических трубах, что дало возможность получить характеристики ветрового потока, соответствующие городской застройке;
- экспериментальные данные распределения ветрового давления на поверхности гражданского здания массового строительства, что дало возможность определить зависимость распределения ветровой нагрузки от параметров окружающей застройки;
- зависимости обтекания ветровым потоком гражданских зданий от параметров окружающей застройки, полученные на основе численного моделирования аэродинамических исследований методом наименьших квадратов и точечного исчисления, которые использованы для расчета ветровой нагрузки на здания, расположенные в застройке различной конфигурации;
- развитие теории расчета кратности воздухообмена с учетом влияния распределения ветровой нагрузки по оболочке зданий, с целью усовершенствования методики расчета потерь тепла гражданских зданий, расположенных в застройках различной конфигурации.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов состоит в следующем:

- получены экспериментально-теоретические результаты, способствующие дальнейшему развитию методов определения ветровых нагрузок на гражданские здания, формируемые в результате изменения ветрового потока подветренными волнами отдельных впереди стоящих зданий или группы зданий различной этажности;
- разработана математическая модель аэродинамических исследований для изучения обтекания ветровым потоком гражданских зданий, расположенных в застройках различной конфигурации на основе метода наименьших квадратов и точечного исчисления;
- в результате проведенных исследований обеспечивается возможность совершенствования проектных решений компоновки застройки и ее отдельных элементов, более точная оценка расчетных нагрузок на несущие и ограждающие конструкции, совершенствование прикладных расчетных программ, используемых при расчете и проектировании гражданских зданий.
- результаты внедрены следующими организациями: ГОУ ВПО «ДОННАСА»; ООО «Донецкий ПромстройНИИпроект»; Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Донецкой Народной Республики.

Методология и методы исследования. Поставленные в работе задачи решаются с использованием следующих методов:

- методы теоретической аэромеханики;
- метод наименьших квадратов и точечного исчисления;
- методы физического моделирования в аэродинамической трубе ЦНТ с использованием методов теории подобия, аэродинамических методов испытаний моделей зданий и их комплексов, гидродинамических методов измерения давлений.

Также используются специализированные программные пакеты Maple, Microsoft Excel, SCAD Office, ArchiCAD, AutoCAD.

Личный вклад соискателя

Наиболее существенные научные результаты, полученные автором, состоят из анализа, обобщения и систематизации результатов экспериментальных, теоретических и численных исследований и заключается в разработке:

- методики моделирования физических процессов в аэродинамической трубе ЦНТ на основе методики, используемой в метеорологической аэродинамической трубе (МАТ - 1) «ДОННАСА», что позволило получить в характеристики ветрового потока, соответствующие городской застройке;
- методики масштабного распределения ветрового давления по оболочке гражданского здания массового строительства; определения зависимости между потерей тепла и конфигурацией застройки различной конфигурации;
- математической модели аэродинамических процессов для изучения обтекания ветровым потоком гражданских зданий, расположенных в меняющейся застройке различной конфигурации с использованием метода наименьших квадратов и точечного исчисления;
- уточнения инженерной методики расчета потерь тепла с учетом давления ветра в зависимости от геометрических параметров здания и конфигурации застройки.

На защиту выносятся:

- результаты теоретических и экспериментальных исследований ветрового давления и значений аэродинамических коэффициентов на наружные ограждающие конструкции гражданских зданий массового строительства, расположенных в застройках различной конфигурации;
- уточнение инженерной методики расчета потерь тепла с учетом давления ветра в зависимости от геометрических параметров здания и конфигурации застройки.

Степень достоверности и апробация результатов. Основные результаты работы и материалы исследований докладывались и обсуждались на: международной научно-практической конференции «Наука и инновации в современном строительстве - 2007» (Санкт – Петербург, октябрь 2007 г.), I международной научно-практической конференции «Актуальні питання реформування жилого-комунального господарства в Україні» (Макеевка – Славянск, 2008 г.), IV международной научно-практической конференции «Научная мысль информационного века - 2008» (Прага, 2008 г.), научно-практической конференции «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті» (Харьков, 2008 г.), IV Международной научно-практической конференции Научная мысль информационного века – 2009 (Перемышль, 2009 г.), V международной научно-практической конференции «Образование и наука 21 век – 2010» (Болгария, 2010 г.), международной научно-практической конференции «Строительство - 2010» (Ростов-на-Дону, 2010 г.), научной конференции молодых ученых, студентов и аспирантов «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті» (Киев, 2010 г.), международной научно-практической конференции молодых ученых и

студентов «Будівництво, реконструкція та дизайн сучасного містобудування» (Луцк, 2011 г.), II международной практической конференции «Теорія і практика містобудування. Перспективи і пріоритети розвитку» (Луцк, 2012 г.), IX международной практической интернет-конференции “Сталий розвиток. Управління проектами і програмами міського і регіонального розвитку” (Харьков, 2012г.), III международной научно-практической конференции «Научная индустрия европейского континента – 2013» (Перемышль, 2013 г.), научном семинаре в Центра наследия Тельч (Centre Excellence Telč, Czech Republic) института теоретической и прикладной механики Чешской академии наук (Тельч, Чехия, октябрь 2014 г), V Республиканской конференции молодых ученых, аспирантов, студентов «Научно-технические достижения студентов, аспирантов, молодых ученых строительно-архитектурной отрасли» (Макеевка, 2019 г.)

Публикации. Основное содержание диссертации и результаты исследований опубликованы в 21 научной публикации, в том числе 9 научных публикаций – в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень специализированных научных журналов; 1 – в зарубежном издании, индексируемом международной реферативной базой цитирования SCOPUS; 1 - в зарубежном цитируемом издании, индексируемом международной реферативной базой цитирования Web of Science; 10 публикаций – по материалам научно-практических конференций.

Общий объем публикаций 7,71 п.л., из которых 3,6 п.л. принадлежат лично автору.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, выводов, списка использованных источников и четырех приложений. Работа изложена на 257 страницах, в том числе 105 страницы основного текста, 42 полных страницы с рисунками и таблицами, 16 страниц списка источников, 94 страницы приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложена общая характеристика работы, приведено обоснование актуальности рассмотренной проблемы. Изложены цель, задачи исследования, характеристика объекта и предмета исследования, научная и практическая ценность результатов работы, сведения о внедрении и апробации результатов исследования, личный вклад автора в полученные результаты, характеристика публикаций автора по теме диссертации, структура и объем диссертации.

В первом разделе на основе обзора литературных источников приведен анализ результатов экспериментальных и теоретических исследований ветровых воздействий на здания и сооружения в условиях их взаимовлияния. Н. Н. Серебереников и Ф. Л. Серебровский рассмотрели произвольный проект застройки жилого микрорайона и выполнили классификацию форм застройки. Выполнен критический анализ экспериментальных исследований по изучению обтекания модели здания воздушным потоком в аэродинамической трубе. Однако в анализируемых исследованиях не было рассмотрено влияние расстояния между зданиями и их высота на характеристики ветрового потока и потери тепла. Основные теоретиче-

ские сведения об архитектурно-строительной аэродинамике, методиках определения ветровой нагрузки на здания и сооружения приведены в работах E. Simiu, R. H. Scanlan, Э. И. Петтер. В трудах Jozwiak R., Kiyoshi U., Tieleman H. W., Maruyama T., Cook N. J. Mohamed Sitheeq M. приведен анализ методик моделирования приземно-пограничного слоя атмосферы в аэродинамических трубах, который дал понятие основных инструментов, необходимых для достижения требуемого распределения поля скоростей и турбулентности.

К. И. Семашко разработаны рекомендации по регулированию ветрового режима селитебных территорий архитектурно-планировочными средствами, но влияние зданий друг на друга не было рассмотрено.

В исследованиях Е. В. Горохова, Р. И. Кинаша, М. И. Казакевича, С. Ф. Пичугина, Р. Н. Павловского, В. Ф. Муцанова, В. В. Стоянова, А. М. Югова, В. В. Кулябко, С. С. Жуковского, Я. В. Назима, А. В. Мохинько, А. Е. Копылова, С. Г. Кузнецова, Э. А. Лозинского и др. установлено, что на интенсивность ветровых нагрузок значительно влияют расположенные рядом здания, сооружения и рельеф. Здание или сооружение, расположенное в непосредственной близости от другого здания или сооружения, находится в иных условиях, чем отдельно-стоящее.

Разработанные А. В. Шимановским, Е. В. Гороховым, А. В. Перельмутером, С. Ф. Пичугиным, В. А. Пашиным, В. М. Гордеевым, М. А. Микитаренко государственные строительные нормы и другие работы содержат данные о ветровых нагрузках только для отдельно стоящих зданий.

В ДБН В.1.2-2:2006 «Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования» коэффициенты давления (C_p) приняты постоянными +0,8 с наветренной стороны здания и -0,6 с заветренной.

В работах В. Ф. Губаря, И. Г. Гевлича, М. А. Никулина и Н. В. Тимофеева идет речь о моделировании воздушных течений в приземной плоскости застройки с одинаковой высотой зданий. Численным моделированием ветрового воздействия на отдельно стоящее высотное здание занимались J. C. R. Hunt, D. M. Summers и A. C. Hansen. Однако в их работах не исследован фактор потерь тепла от действия ветра на здания, расположенные в застройке различной конфигурации.

В работе проанализировано определение потерь тепла в таких странах как Российская Федерация (РФ) - СНиП 23-02-3003 «Свод правил. Тепловая защита зданий», Украина (УК) - ДСТУ – Н Б А.2.2-5:2007 «Руководство по разработке энергетического паспорта зданий при новом строительстве и реконструкции», Республика Белоруссия (РБ) – ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования», Республика Казахстан (РК) – СН РК 2.04-21-2004 «Энергопотребление и тепловая защита гражданских зданий», в которых большое внимание уделено потерям тепла зданий различного назначения. В этих нормативных источниках не учитываются коэффициенты давления (C_p) при расчете разности давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, влияющей на теплопотери зданий массового строительства.

Таким образом, в нормативной литературе отсутствуют параметры, характеризующие теплопотери от действия ветра на здания, расположенные в за-

стройке. Исходя из вышесказанного, требуется уточнение методики расчета потерь тепла в зданиях массового строительства с учетом геометрических размеров зданий и конфигурации застройки.

Во втором разделе приведены критерии подобия при выполнении масштабных экспериментальных исследований в аэродинамической трубе, приведены методы моделирования приземного пограничного слоя атмосферы, рассмотрены характеристики ветрового потока.

Для выполнения экспериментальных исследований приведено описание аэродинамической трубы ЦНТ. Аэродинамическая труба рециркуляционного типа с имитацией пограничного слоя атмосферы ЦНТ спроектирована как замкнутая цепь с контролируемой скоростью ветра и температурными параметрами. Она состоит из климатической и аэродинамической секций. Рабочее пространство аэродинамической секции имеет прямоугольное сечение 1,9 м (ширина) \times 1,8 м (высота). Общая длина проточного тракта аэродинамической части составляет 11,0 м. Диапазон скорости ветра в пустой рабочей части 1,5–33 м/с (рис.1).

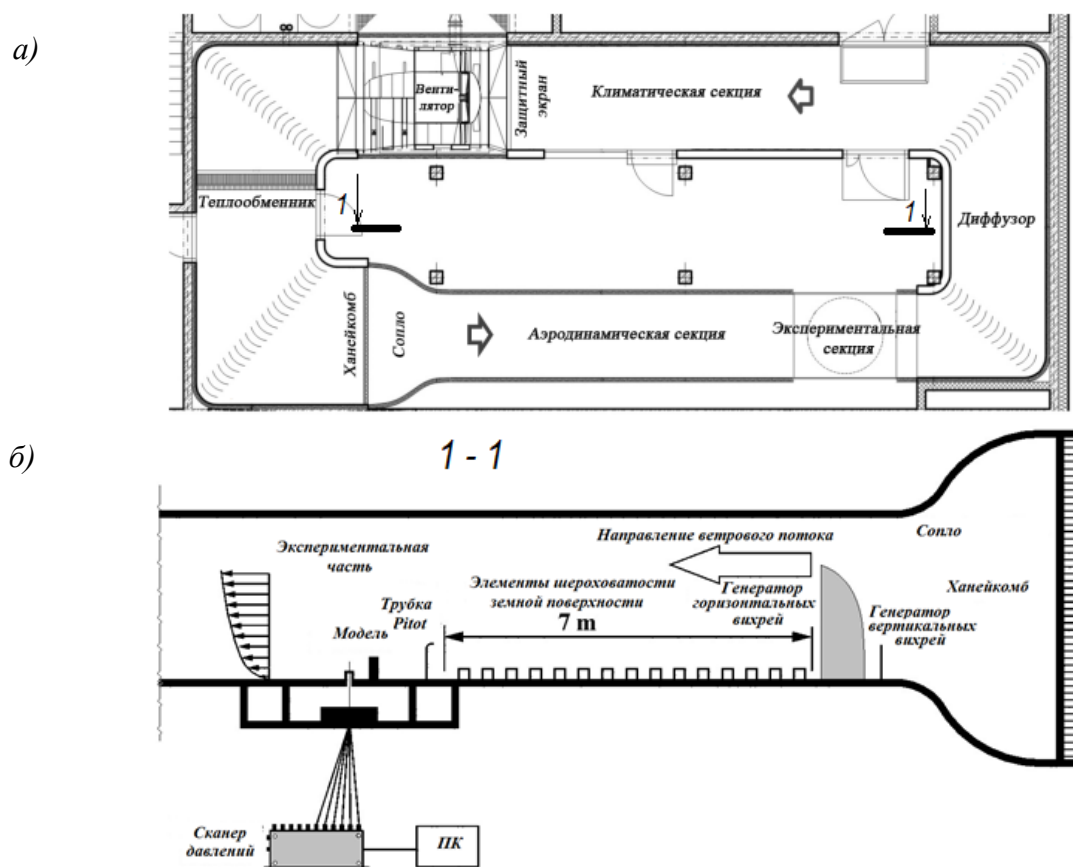


Рисунок 1. Аэродинамическая труба ЦНТ: а) план; б) поперечное сечение рабочей зоны аэродинамической секции.

Для моделирования атмосферного пограничного слоя и скоростных характеристик ветра использованы: элементы шероховатости пола, три генератора вихревых спиралей и зубчатый барьер. Основные инструменты этого метода,

используемого для текущего моделирования атмосферного пограничного слоя, приведены на рисунке 2.

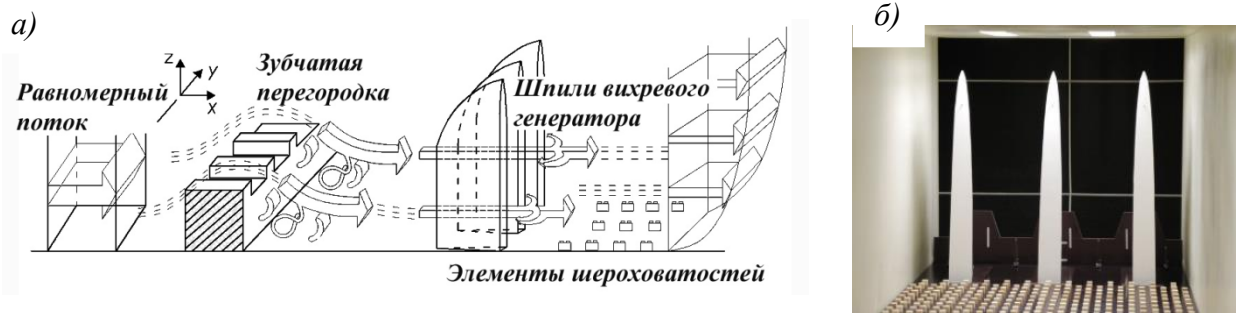


Рисунок 2. Схема и инструменты моделирования атмосферного пограничного слоя: а – схема создания слоя; б – вид на имитацию шероховатостей и вихревой генератор.

Оцифрованный сигнал передается в компьютер, и анализ данных выполняется с использованием программного обеспечения Dewetron. Контрольную скорость потока измеряли с использованием Пито-статической трубки, соединенной с тем же сканером давления. Сбор и анализ данных выполняются с помощью программного обеспечения StreamWarePro.

Для испытаний в аэродинамической трубе характеристики полей ветра должны быть получены в соответствующем масштабе. В основном необходимо учитывать следующие особенности естественного ветра: профиль средней скорости ветра, профиль интенсивности турбулентности, распределение колебаний скорости ветра по частоте, так называемый спектр ветра, профиль интегральной шкалы длины.

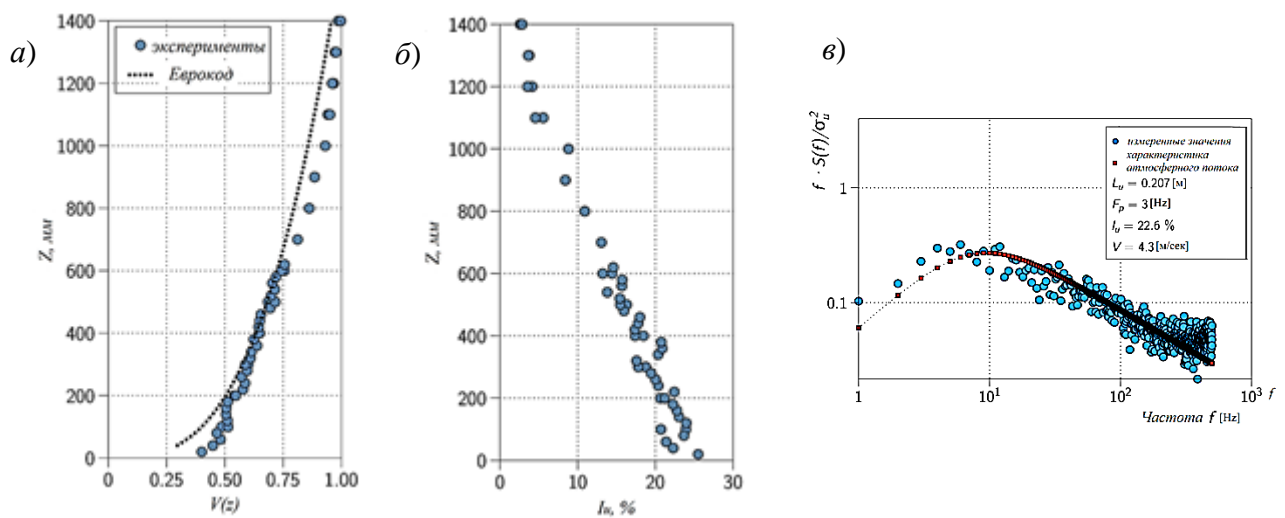


Рисунок 3. Характеристики ветрового потока в трубе ЦНТ: а – график распределения скорости; б – график распределения турбулентности, в – спектральная плотность ветрового потока в трубе.

Данные показатели, полученные в ходе экспериментов по картированию скоростей, показывают характеристики ветрового потока в аэродинамической трубе ЦНТ (рис.3). Средние скорости ветра нормируются с использованием

эталонной скорости V_{ref} , измеренной в набегающем потоке. Интенсивность турбулентности Iu нормируется с использованием средней скорости ветра в соответствующей точке измерения. Профиль скорости соответствует степенному закону с показателем $\alpha = 0,28$, а интенсивность турбулентности находится в пределах 15% , что соответствует рекомендациям «Eurocod 1, TN 1991-1-4» для типа местности городской топографии в уменьшенном масштабе при масштабном коэффициенте моделирования 1:70.

Изучив и сопоставив физические характеристики ветрового потока аэродинамической трубы ЦНТ, составлена методика, программа и масштабы экспериментальных исследований обтекания ветровым потоком гражданских зданий массового строительства, расположенных в застройке различной конфигурации.

В третьем разделе приведены экспериментальные исследования. Наиболее надежные данные об аэродинамических характеристиках здания массового строительства могут быть получены в результате экспериментальных исследований в аэродинамических трубах или натурных экспериментов.

Для определения зависимости параметров периметральной застройки от параметров ветровой нагрузки на здание небольшой этажности, с учетом планировки застройки, разработана программа масштабных исследований в лаборатории строительной аэродинамики в аэродинамической трубе ЦНТ. Исследуемая модель представляет собой параллелограмм, выполненный из органического стекла, с размерами 360×60×75 мм, что эквивалентно размерам пятиэтажного жилого здания. На ее сторонах были расположены отверстия на расстоянии 30×30 мм. друг от друга (рис.6а, 7).

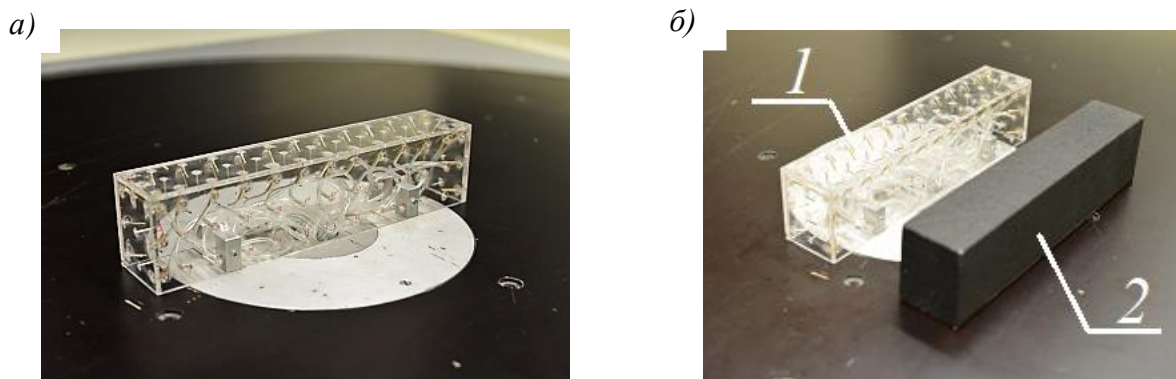


Рисунок 6. Форма, размеры исследуемой модели и ее взаимодействие с моделями-преградами, установленными на рабочем столе: а – исследуемая модель; б - исследуемая модель (1) и модель-преграда (2).

Модели-преграды выполнены из пенопласта и окрашены в черный цвет. Т.к. в качестве объекта исследования принято здание средней этажности (5 этажей), то размеры моделей-преград в плане соответствуют исследуемой модели, а высота варьируется от 1Н до 3Н, с шагом Н, где Н – высота исследуемой модели (рис.6б).

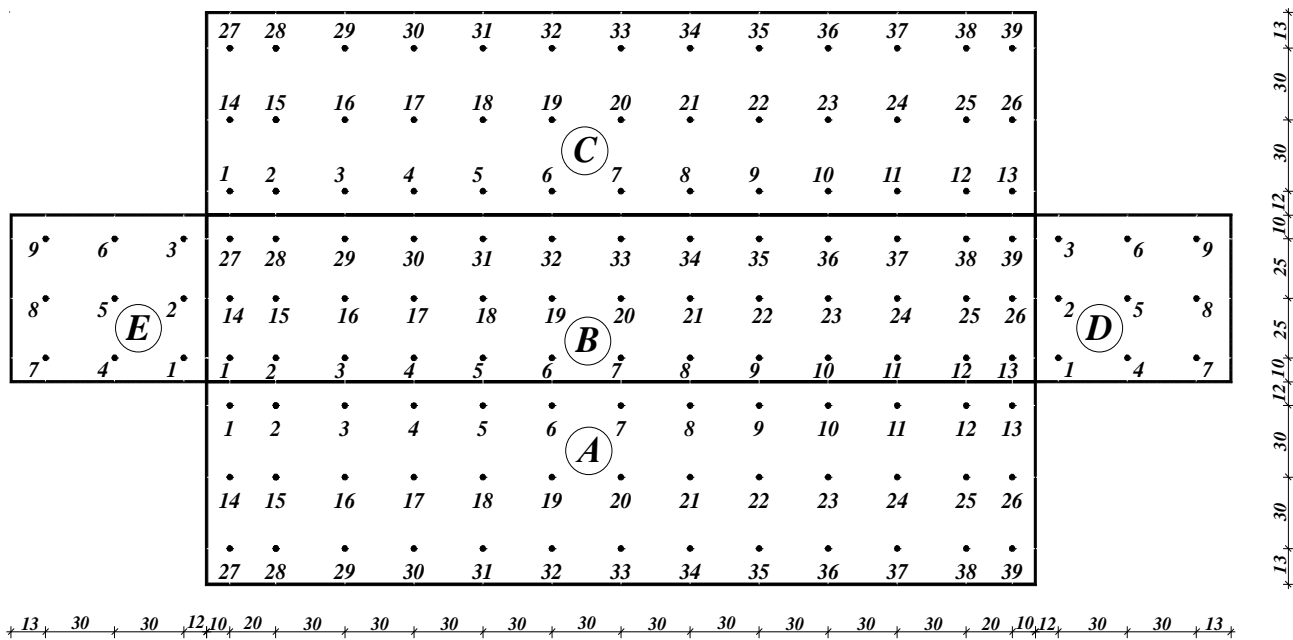


Рисунок 7. Схема дренирования исследуемой модели.

Программой эксперимента предусмотрено исследование нескольких различных видов конфигураций застройки, наиболее часто встречающихся при проектировании микрорайонов, предложенных Н.Н. Сереберенниковым и Ф.Л. Серебровским (рис. 8). Систематизировав отношения расстояний между исследуемой моделью и моделями-преградами, выполнена классификация схем конфигурации застройки для проведения экспериментального исследования.

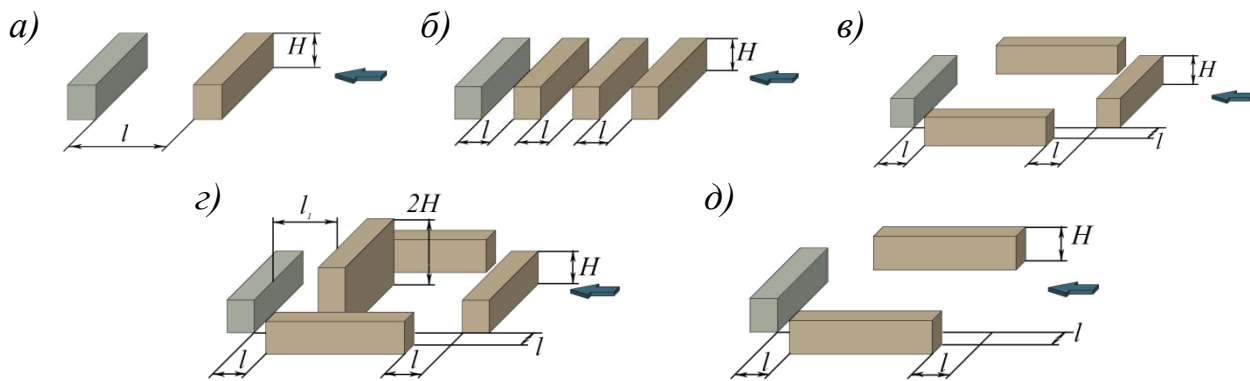


Рисунок 8. Конфигурация вариантов застройки: а – линейная с одной преградой; б - линейная с несколькими преградами; в – квадратная форма застройки; г – квадратная с уплотнением зданием внутри застройки; д – квадратная без непосредственной преграды.

Эксперименты выполнены при соблюдении следующих параметров микроклимата в аэродинамической части аэрационной трубы: - температура воздуха, $t = 25,0 \div 29,5$ °С; - влажность воздуха, $\varphi = 36 \div 31\%$; - плотность воздуха, $\rho = 1,108 \div 1,114$ кг/м³; - скорость воздуха, $\nu = 15,5$ м/сек; - угол атаки, $\theta - 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$.

В процессе обработки экспериментальных данных построены диаграммы распределения коэффициентов давления (C_p) по дренажным отверстиям с уче-

том угла атаки, также, используя метод Particle Image Velocimetry (PIV) получена картина обтекания ветровым потоком моделей застройки (рис.9).

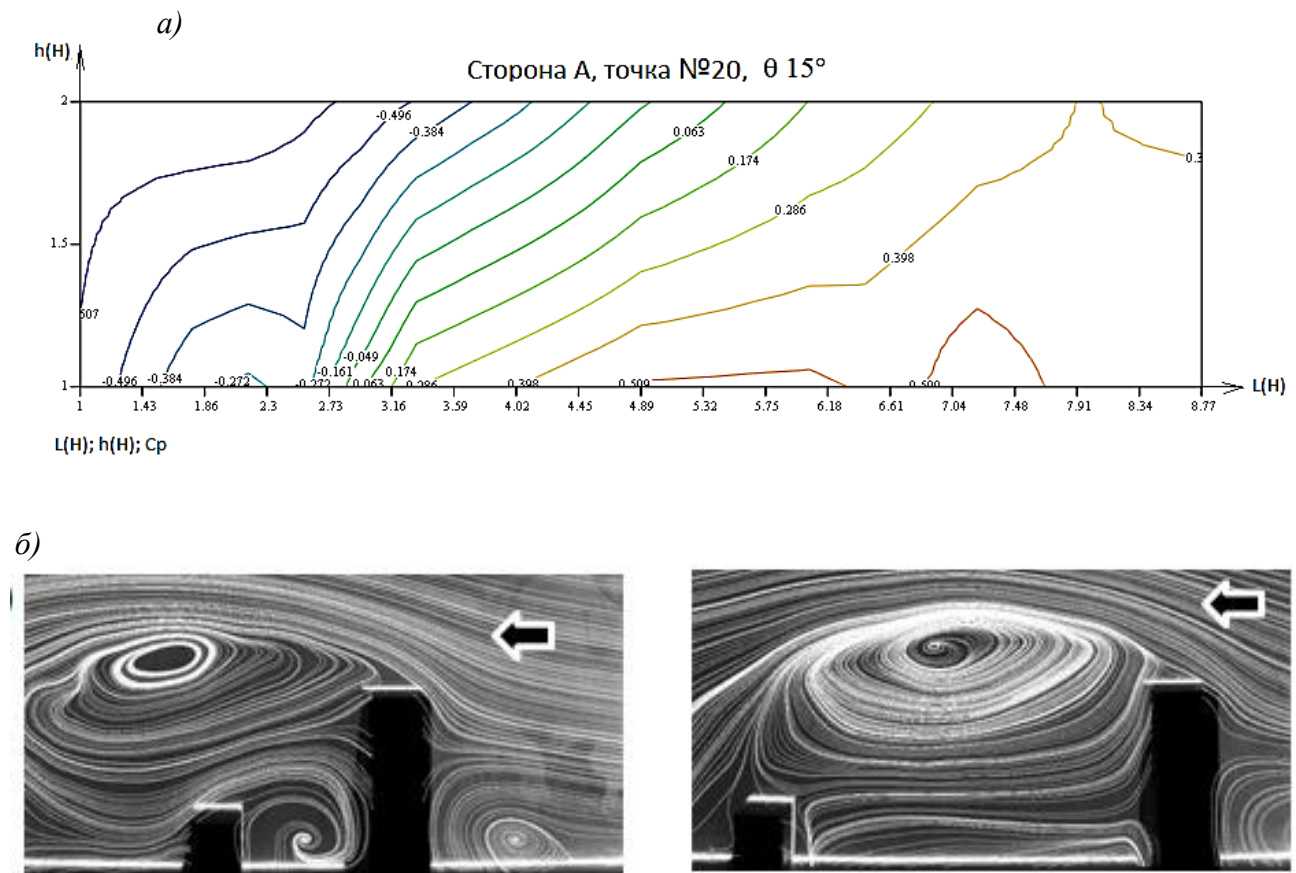


Рисунок 9. Пример результатов экспериментальных исследований: а – диаграмма распределения коэффициентов давления C_p ; б – визуализация потока методом PIV.

Получен большой массив данных усредненных значений C_p для каждой точки дренирования исследуемой модели. Для анализа данных используется двумерная аппроксимация на основе метода наименьших квадратов. Аппроксимационные методы в данном случае имеют преимущество над интерполяционными, поскольку позволяют ограничить влияние ошибочной информации, полученной в результате эксперимента. Для автоматизации процесса аппроксимации применялась одна из систем компьютерной алгебры. В результате получены таблицы, содержащие уравнения аппроксимации в виде полиномиальных зависимостей и коэффициент детерминации для каждого угла атаки. В качестве примера приведено уравнение в точке 20 стороне А для угла атаки $\theta - 0^\circ \div 90^\circ$ (табл.1).

Чтобы определить значения в промежуточных точках на поверхности стены используется параболическая двумерная интерполяция, аналитическое описание которой выполнено в точечном исчислении.

Таблица 1. Уравнения аппроксимации в точке 20 при различных углах атаки θ° .

Угол атаки θ°	Уравнение аппроксимации	Коэффициент детерминации
Точка 20		
0	$z = 0,112x - 0,253y - 0,385.$	0,97
15	$z = 0,006x^2y - 0,029x^2 - 0,548y + 0,338x - 0,172.$	0,93
30	$z = 0,005x^3 - 0,096x^2 - 0,738y + 0,082xy + 0,543x - 0,1.$	0,94
45	$z = -0,016x^2y - 0,814y + 0,208xy + 0,526.$	0,97
60	$z = -0,009x^2y - 0,522y + 0,124xy + 0,286.$	0,97
75	$z = -0,004x^2y - 0,259y + 0,058xy + 0,059.$	0,98
90	$z = -0,0003x^5y + 0,007x^4y - 0,063x^3y + 0,0006x^3 + 0,27x^2y - 0,006x^2 + 0,104y - 0,46xy + 0,045.$	0,93
Условные обозначения: z – аэродинамический коэффициент C_p ; x - расстояние между исследуемой моделью и моделью-преградой $l(H)$; y - высота модели-преграды $h(H)$.		

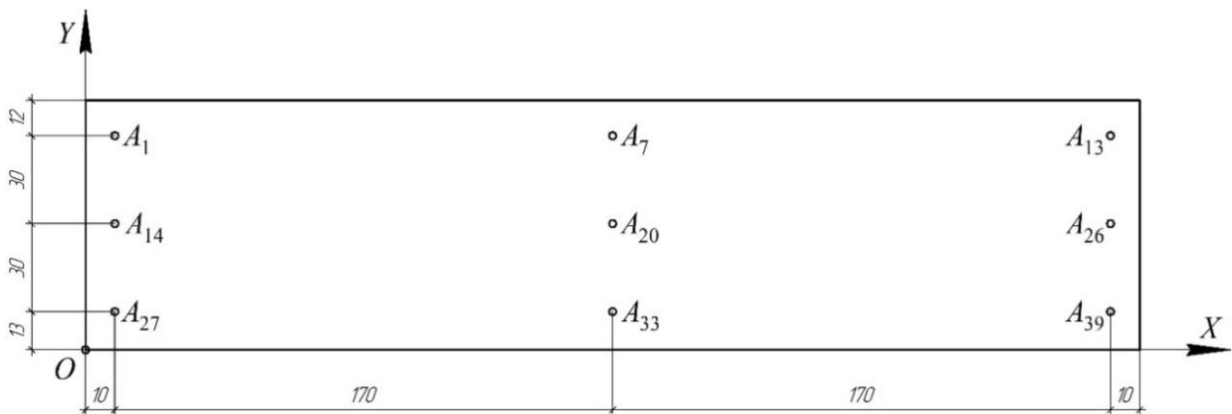


Рисунок 10. Геометрическая план-схема построения поверхности отклика.

В соответствии с геометрической теорией многомерной интерполяции составлена геометрическая схема координации точек на поверхности стены. В левом нижнем углу примем условное начало координат (рис. 10). Для построения параболической поверхности отклика скоординированы точки в плане в соответствии с геометрическими размерами стены.

Учитывая линейную зависимость между факторами и параметрами оптимизации, переходим от системы параметрических уравнений к уравнению поверхности отклика в явном виде:

$$C_p = \frac{(73-Y)(43-Y)}{104040000} (az_{27} + bz_{33} + cz_{39}) + \frac{(Y-13)(73-Y)}{52020000} (az_{14} + bz_{20} + cz_{26}) + \frac{(Y-13)(Y-43)}{104040000} (az_1 + bz_7 + cz_{13}), \quad (1)$$

где $a = (350 - X)(180 - X)$; $b = 2(X - 10)(350 - X)$; $c = (X - 10)(X - 180)$; X – ширина поверхности, А, мм; Y – высота поверхности, А, мм; z_i – аппроксимирующие уравнения из таблицы, которые выбираются в зависимости от угла атаки.

На основании разработанной математической модели получены зависимости распределения коэффициентов давления (C_p) на поверхности зданий в застройках различной конфигурации (рис. 11).

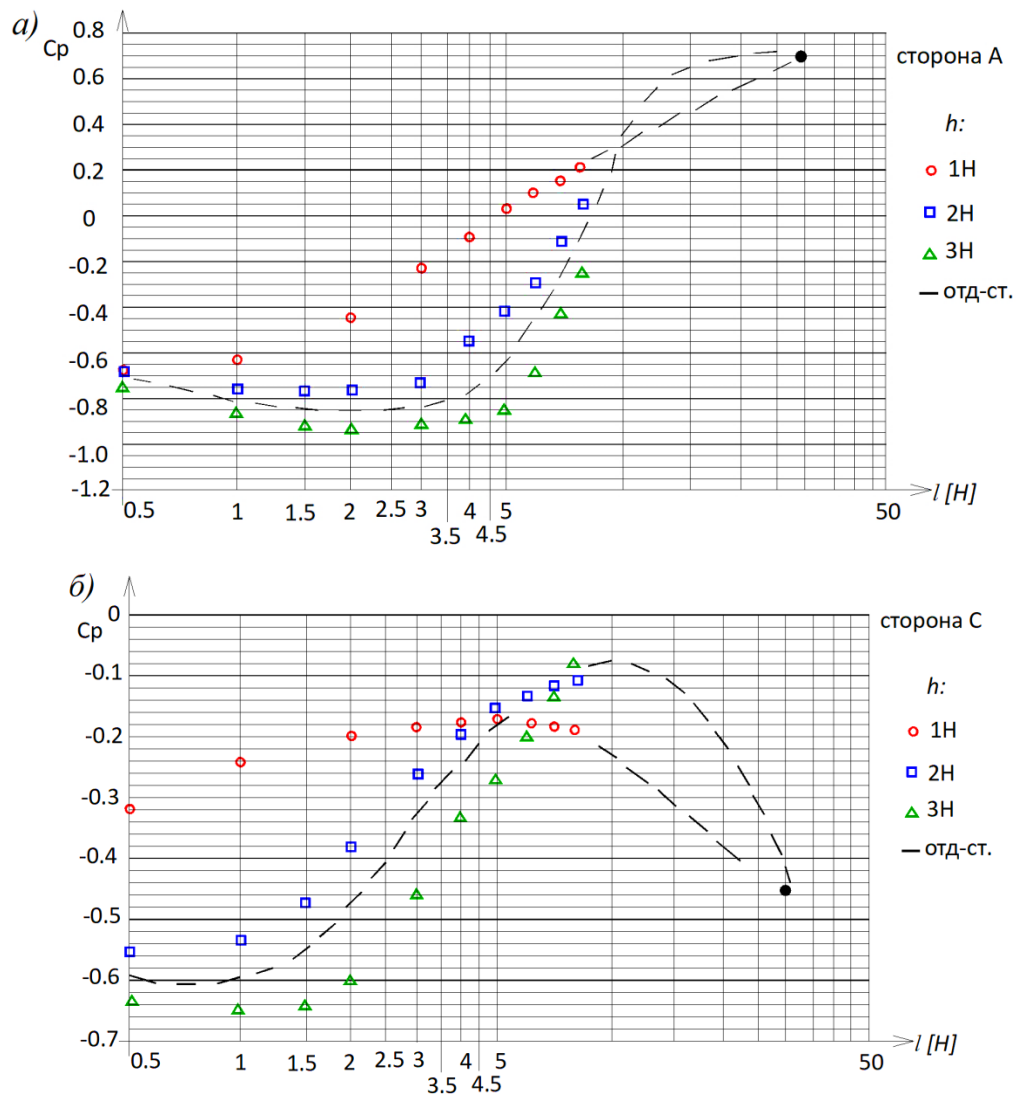


Рисунок 11. Пример распределения коэффициентов среднего давления на поверхностях исследуемой модели для различных значений расстояния l от высоты исследуемой модели: а) по поверхности А; б) по поверхности С.

Расчет теплопотерь необходимо вести по алгоритму предлагаемого уточнения инженерной методики. При расчете необходимо:

- 1) определить геометрические размеры зданий и форму застройки;
- 2) по графикам (рис. 10.) определить аэродинамические коэффициенты наветренной и заветренной сторон здания C_n и C_p ;
- 3) применить полученные коэффициенты C_n и C_p для определения разности давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, ΔP , Па.

Дальнейшие расчеты необходимо выполнять согласно общепринятой методике.

В четвертом разделе при определении экономической эффективности проведены расчеты некоторых теплотехнических и энергетических параметров жилого дома согласно нормам «Энергетического паспорта» по методике в СП (EN ISO 13790:2008) «Энергетическая эффективность зданий. Расчет потребления тепловой энергии для отопления, охлаждения, вентиляции и горячего водоснабжения».

Для расчет взят проект пятиэтажного двухсекционного жилого дома серии 1-335, г. Донецк, ДНР.

После выполненных расчетов составлена диаграмма сравнения зависимости общих потерь тепла с учетом нормативных коэффициентов и коэффициентов, полученных в результате расчета по уточненной методике. (рис.11).

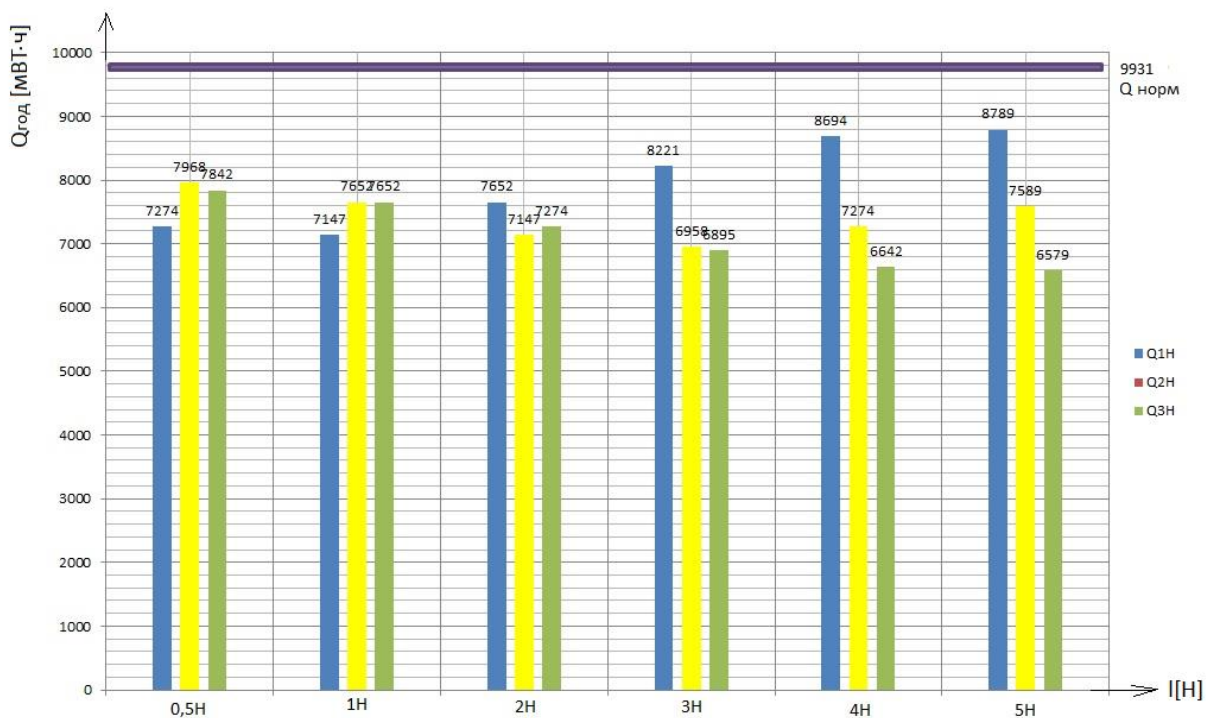


Рисунок 11. Зависимость общих потерь от геометрических параметров застройки: $Q_{\text{норм}}$ – годовые потери тепла с учетом нормативных коэффициентов; $Q1H$, $Q2H$, $Q3H$ – годовые потери тепла с учетом уточненных коэффициентов при высоте преграды 1H, 2H и 3H соответственно; l – расстояние между зданиями.

Проанализировав данные, представленные на диаграмме, можно сделать вывод, что потери тепла по уточненной методике характеризуются следующими параметрами:

1) при расстоянии между зданиями $l[H]=0,5H$; $1H$ и $2H$ и высоте преграды в $h[H]=1H$, $2H$ и $3H$, потери тепла примерно одинаковы, однако ниже нормативных от 20% до 26%;

2) при расстоянии между зданиями $l[H]=3H$, $4H$, $5H$ и выше, и при высоте преграды $h[H]=2H$, $3H$ и выше, потери тепла ниже нормативных до 30%;

3) при высоте преграды $h[H]=1H$ и расстояниях $l[H]=3H$, $4H$, $5H$ показатели потери тепла постепенно стремятся к нормативным, и снижаются от 22% до 11%.

Исходя из изложенного, можно утверждать, что потери тепла гражданского здания зависят от размеров и конфигурации застройки. Применение предложенной методики расчета потерь тепла в зданиях массового строительства в части определения разности давлений поверхностях ограждающих конструкций, ΔP , позволит оптимизировать расходы тепла на обогрев помещений.

ВЫВОДЫ

Решена научно-техническая задача по изучению влияния ветровой нагрузки на здания массового строительства, расположенные в застройках различной конфигурации для усовершенствования инженерной методики расчета потерь тепла; в ходе ее решения получены следующие результаты:

1. Проанализированы классификация существующих форм застроек и методик расчета потерь тепла в гражданских зданиях, результаты экспериментальных и теоретических исследований ветровых воздействий на здания и сооружения в условиях их взаимодействия, методик моделирования приземно-пограничного слоя атмосферы в аэродинамических трубах;

2. На основе методики моделирования физических процессов в метеорологической аэродинамической трубе (МАТ-1) «ДОННАСА» разработаны критерии физических процессов, которые позволили определить характеристики ветрового потока в аэродинамической трубе ЦНТ близкие к натурным; получен профиль скорости, который соответствует степенному закону с показателем $\alpha = 0,28$, а интенсивность турбулентности находится в пределах 15%, что соответствует требованиям, рекомендованным «Eurocod 1, TN 1991-1-4» для типа местности городской топографии в уменьшенном масштабе при масштабном коэффициенте длины моделирования 1:70. Определены критерии подобия исследования ветровых воздействий на здания и сооружения.

3. На основании результатов экспериментальных исследований в аэродинамической трубе ЦНТ определено распределение аэродинамических коэффициентов давления на модели здания массового строительства. Выявлены зависимости между распределением ветрового давления от геометрических параметров здания и конфигурации застройки. Определено, что распределение коэффициентов давления ветра (C_p) на наветренную и заветренную стороны здания C_n и C_n , расположенного в застройке, отличается от давления на наветренную $C_n=+0,8$ и заветренную $C_n=-0,6$ стороны отдельного здания и

может составлять: при высоте здания-преграды $h[H] = 1H, 2H$ и $3H$ коэффициент наветренной стороны $C_n = -0,31, -0,74$ и $-0,91$ соответственно, коэффициент заветренной стороны $C_p = -0,63, -0,72$ и $-0,99$ соответственно.

4. Разработана математическая модель обтекания ветровым потоком призматических цилиндров, имитирующих застройку, на основе метода наименьших квадратов и точечного исчисления. В результате получены уравнения аппроксимации и коэффициент детерминации для: каждого угла атаки θ от 0° до 90° ; расстояний между зданиями $l(H)$; высот зданий $h(H)$, а также уравнение поверхности отклика в явном виде с учетом ширины и высоты стены исследуемого здания. На основании разработанной математической модели построены зависимости распределения коэффициентов давления (C_p) на поверхности здания в застройках различной конфигурации.

5. Уточнена инженерная методика расчета потерь тепла с учетом давления ветра в зависимости от геометрических параметров здания и конфигурации застройки. В результате апробации усовершенствованной методики, доказано что потери тепла ниже нормативных: от 20% до 26% при расстоянии между зданиями $l[H] = 0,5H, 1H$ и $2H$ и высоте преграды в $h[H] = 1H, 2H$ и $3H$; до 30% при расстоянии между зданиями $l[H] = 3H, 4H, 5H$ и выше, и при высоте преграды $h[H] = 2H$ и $3H$ и выше; а при высоте преграды $h[H] = 1H$ и расстояниях $l[H] = 3H, 4H, 5H$ потери тепла стремясь к нормативным, снижаются от 22% до 11%.

6. Результаты исследований внедрены в практику проектирования «Проектной организации ООО «Донецкий ПромстройНИИпроект» и Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Донецкой Народной Республики.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

– публикации в рецензируемых научных журналах и изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата:

1. Кузнецов, С. Г. Вітряний тиск при розрахунку вентиляційних тепловтрат будівлі та його вплив на формування території забудови [Текст] / С. Г. Кузнецов, **А. П. Бутова** // Вісник ДонНУЕТ. – Донецьк : ДонНУЕТ. – 2006. – Вип. № 1(29). – С. 31-35.

2. Кузнецов, С. Г. Вітрове навантаження та його вплив на тепловтрати підприємств ресторанного господарства [Текст] / С. Г. Кузнецов, **А. П. Бутова** // Збірник наукових праць Луганського НАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ : Видавництво ЛАНУ. – 2008. – № 88. – С. 158-160.

3. Кузнецов, С. Г. Тепловтрати в жилых зданиях при реконструкции застройки высотными зданиями [Текст] / С. Г. Кузнецов, **А. П. Бутова** // Научно-технический сборник ХНАГХ «Коммунальное хозяйство городов». Серия «Архитектура и технические науки». – Х. : ХНАГХ. – 2009. – № 3. – С. 159-163.

4. Кузнецов, С. Г. Чисельне моделювання обтікання вітровим потоком будівель середньої поверховості [Текст] / С. Г. Кузнецов, **А. П. Бутова** // Вісник ДонНУЕТ. Сер.: Техн. науки. – 2010. – № 1 (45). – С. 21-26.

5. Кузнецов, С. Г. Теплоотдача зданий в городской застройке при действии на них ветра [Текст] / С. Г. Кузнецов, **А. П. Бутова** // Вісник ДонДАБА. – 2010. – Вип. 2010-2(82) Проблеми архітектури і містобудування. – С. 11-17.

6. Кузнецов, С. Г. Теплоотдача в жилых зданиях при действии ветра в периметральной застройке [Текст] / С. Г. Кузнецов, **А. П. Бутова** // Містобудування та територіальне планування : наук.-техн. збірник ; відпов. ред. М. М. Осетрін. – К. : КНУБА, 2011. – Вип.40. У 2 ч. Ч. 1. – С. 545-553.

7. Кузнецов, С. Г. Експериментальне дослідження обтікання вітром лінійної забудови [Текст] / С. Г. Кузнецов, **А. П. Бутова** // Комунальне господарство міст : наук.-техн. Збірник. Серія: технічні науки та архітектура. – Харків : видавництво ХНАМГ. – 2012. – Вип. 103. – С. 182-188.

8. Кузнецов, С. Г. Вплив навколишньої забудови на зміну теплових втрат викликаних вітром при природній вентиляції житлового будинку [Текст] / С. Г. Кузнецов, **А. П. Бутова** // Містобудування та територіальне планування : наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2012. – Вип. 45. У 3 ч. Ч. 1. – С. 117-126.

9. **Бутова, А. П.** Рациональные параметры зданий, повышающие энергосбережение существующей жилой застройки при ее уплотнении / [Электронный ресурс] / А. П. Бутова, Э. А. Лозинский, В. А. Лозинская // Металлические конструкции. – 2021. – Том 27, номер 1. – С. 5-16. – Режим доступа: http://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2021-1/01_butova_lozinskiy_lozinskaya.pdf.

– публикации в зарубежных изданиях, индексируемых международной реферативной базой цитирования SCOPUS:

10. Kuznetsov, S. Influence of Placement and Height of High-Rise Buildings on Wind Pressure Distribution and Natural Ventilation of Low- and Medium-Rise Buildings [Электронный ресурс] / S. Kuznetsov, **A. Butova**, S. Pospíšil // International Journal of Ventilation, 2016. – Vol. 15, nos. 3-4. – P. 253-266. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1080/14733315.2016.1214396>.

– в зарубежном цитируемом издании, индексируемом международной реферативной базой цитирования Web of Science:

11. Butova, A. The effect of wind pressure changes on natural ventilation of thermally massive building in urban square blocks [Текст] // **A. Butova**, S. Kuznetsov // The advanced science open access journal. – 2013. – ISSUE 11. – P. 13-20. – ISSN 2219 - 746X.

– публикации по материалам научных конференций:

1. **Бутова, А. П.** Давление ветра при расчете вентиляционных теплопотерь и его влияние на формирование территории застройки [Текст] / А. П. Бутова // Наука и инновации в современном строительстве : Сборник материалов Международной научно-практической конференции (17-19 октября 2007 г., Санкт-Петербург). – Санкт-Петербург : СПбГУСУ, 2007. – С. 88-92.

2. **Бутова, А. П.** Оптимізація житлової забудови з урахуванням тепловтрат, викликаних інфільтрацією та ексільтрацією повітря крізь огорожувальні конструкції [Текст] / А. П. Бутова, С. Г. Кузнецов // Актуальні питання реформування житлово-комунального господарства в Україні : Збірник тез доповідей I Міжнародної

науково-практичної конференції (14-16 травня 2008 р., Макіївка/Святогірськ). – Макіївка : ДонНАБА, 2008. – С. 124-125.

3. Кузнєцов, С. Г. Вітрове навантаження та його вплив на тепловтрати житлових будівель [Текст] / С. Г. Кузнєцов, **А. П. Бутова** // Научная мысль информационного века - 2008 : Материалы IV международной научно-практической конференции (15-31 марта 2008 г., Прага). – Прага : Publishing House «Education and Science» s.r.o., 2008. – Díl 3. Ekonomické vědy. – С. 77-78.

4. **Бутова, А. П.** Вентиляційні тепловтрати будівель з урахуванням вітряного тиску [Текст] / А. П. Бутова // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті : Матеріали 74-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів (21-22 квітня 2008 р., Київ). – Київ : НУХТ, 2008. – С. 321.

5. **Бутова, А. П.** Оптимізація планування забудови з урахуванням тепловитрат в житлових будівлях, які викликані впливом вітру [Текст] / А. П. Бутова, С. Г. Кузнєцов // Научная мысль информационного века – 2009 : Материалы IV Международной научно-практической конференции (15-31 марта 2009 г., Перемышль). – Перемышль : Sp. z o.o. Nauka I studia, 2009 г. - Том «Экономические науки». - С. 78-80.

6. **Butova, A. P.** Housing development optimization taking into account heat losses due to air infiltration and exfiltration through the building envelope [Текст] / А. Р. Butova, М. Pavlyuk // Образование и наука 21 век – 2010 : Материалы VI международной научно-практической конференции (15-17 октября, 2010 г., София). – София : «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2010. – Том 18 «Математика, современные информационные технологии, строительство и архитектура, физическая культура и спорт». – С. 52-54.

7. **Бутова, А. П.** Изучение аэродинамических характеристик застройки для расчетов тепловпотерь в зданиях и распределения выбросов [Текст] / А. П. Бутова, Г. А. Назаров // Строительство-2010 : Материалы Международной научно-практической конференции (15-17 апреля 2010 г., Ростов-на-Дону). – Ростов-на-Дону : Рост. гос. строит. ун-т, 2010. – С. 113-115.

8. **Бутова, А. П.** Тепловіддача промислових будівель при дії на них вітру [Текст] / А. П. Бутова // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті : Матеріали 76-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів (12-13 квітня 2010 р., Київ). – Київ : НУХТ, 2010. – Частина III. – С. 106.

9. Кузнєцов, С. Г. Експериментальне дослідження обтікання вітром лінійної забудови [Текст] / С. Г. Кузнєцов, **А. П. Бутова** // Сталий розвиток міст, управління проектами і програмами міського і регіонального розвитку : Матеріали IX науково-практичної інтернет-конференції (1-30 квітня 2012 г., Харків). – Харків : ХНАМГ, 2012. – С. 9-12.

10. **Бутова, А. П.** Теплова складова комфортності громадських будівель [Текст] / А. П. Бутова // Научная индустрия европейского континента – 2013 : Сборник материалов III международной научно-практической конференции (5-8 декабря 2013 г., Перемышль). – Перемышль : Sp. z o.o. Nauka I studia, 2013. – Т. 21. – С. 55-60.

АННОТАЦИЯ

Бутова Алла Павловна. **Влияние ветрового давления на потери тепла зданий массового строительства, расположенных в застройках различной конфигурации.** – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения. – Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». – Макеевка, 2021 г.

Диссертация посвящена учету влияния ветровой нагрузки на здания массового строительства, расположенных в застройке различной конфигурации для усовершенствования инженерной методики расчета потерь тепла.

Во введении обоснована актуальность, сформулирована научная новизна, практическая ценность работы, дана ее общая характеристика.

В первом разделе проанализирована классификация существующих форм застроек, существующие методики расчета потерь тепла в гражданских зданиях, результаты экспериментальных и теоретических исследований ветровых воздействий на здания и сооружения в условиях их взаимодействия, методик моделирования приземно-пограничного слоя атмосферы в аэродинамических трубах.

Во втором разделе определены критерии подобия исследования ветровых воздействий на здания и сооружения, разработаны критерии физических процессов, которые позволили определить характеристики ветрового потока в аэродинамической трубе ЦНТ близкие к натурным, соответствующим типу местности городской топографии.

В третьем разделе приведены результаты экспериментальных исследований в аэродинамической трубе ЦНТ, определено распределение аэродинамических коэффициентов давления на модели здания массового строительства. Выявлены закономерности между распределением ветрового давления от геометрических параметров здания и конфигурации застройки. Разработана математическая модель обтекания призматических цилиндров, имитирующих застройку, на основе метода наименьших квадратов и точечного исчисления. На основании разработанной математической модели построены зависимости распределения коэффициентов давления (C_p) на поверхности здания в застройках различной конфигурации.

В четвертом разделе уточнена инженерная методика расчета потерь тепла, с учетом давления ветра в зависимости от геометрических параметров здания и конфигурации застройки.

Ключевые слова: здания массового строительства, застройки различной конфигурации, аэродинамический коэффициент, ветровая нагрузка, аэродинамическая труба, потери тепла здания массового строительства.

ABSTRACT

Alla Butova. **The influence of wind pressure on heat loss in buildings of mass construction located in buildings of various configurations.** - Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences. 05.23.01 - Building structures, buildings and structures. - State educational institution of higher professional education "Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture". - Makeevka, 2021

The main aim of dissertation is taking into account the effect of wind load on buildings of mass construction located in buildings of various configurations to improve the engineering method for the calculating heat losses.

The introduction is based on the relevance, it formulates the scientific novelty, the practical value of the work, and gives its general characteristics.

The first section contains the analysis in categories of existing forms of buildings, existing methods for calculating heat losses in civil buildings, the results of experimental and theoretical studies of wind effects on buildings and structures in the conditions of their interaction, methods for modeling the surface-boundary layer of the atmosphere in wind tunnels.

In the second section, there is a criteria for the similarity of the study of wind effects on buildings and structures are determined, criteria for physical processes have been developed, which made it possible to ordain the characteristics of the wind flow in the wind tunnel of the Centre of Excellence Telč close to full-scale, corresponding to the type of terrain of urban topography.

In the third section, there are presented the results of experimental studies in the Centre of Excellence Telč wind tunnel, the dispensation of aerodynamic pressure coefficients on the model of a building for mass construction is determined. Regularities have been revealed between the dispensation of wind pressure from the geometric parameters of the building and the configuration of the building. A mathematical model has been developed for the flow around prismatic cylinders that simulate buildings, based on the least squares method and point calculus. Providing the basis of the developed mathematical model, there were constructed dependences of the distribution of pressure coefficients (C_p) on the surface of the building in buildings of various configurations.

In the fourth section, the engineering methodology for calculating heat losses is specified, taking into account the wind pressure, that depends on the geometric parameters of the building and the configuration of the development.

Key words: buildings of mass construction, buildings of various configurations, aerodynamic coefficient, wind load, wind tunnel, heat losses of a building of mass construction.