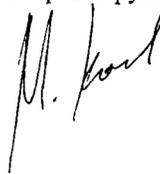


0- 779588

На правах рукописи



Козлов Максим Владимирович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА РЕКЛАМНЫХ  
СООРУЖЕНИЙ НА ВЕТРОВУЮ НАГРУЗКУ**

Специальность 05.23.01 – “Строительные конструкции, здания и  
сооружения”

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени кандидата  
технических наук

Казань 2009

Работа выполнена на кафедре металлических конструкций и испытания сооружений Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
Шмелев Геннадий Николаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Ведяков Иван Иванович,  
кандидат технических наук, профессор  
Столбов Александр Васильевич

Ведущая организация: ЗАО «Казанский Гипроронииавиапром», г. Казань

Защита состоится «8» декабря 2009 года в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.077.01 при Казанском государственном архитектурно-строительном университете по адресу: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1, КазГАСУ, ауд. 3-203 (зал заседаний Учёного совета).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

Автореферат разослан «8» ноября 2009 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Абдрахманова Л.А.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000644230

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Начиная с начала 90-х годов XX века, в России формируется рынок рекламных услуг, одно из направлений которого является наружная реклама (установка рекламных сооружений (РС)). Анализ эксплуатируемых РС показывает на низкое качество проектирования, производства и эксплуатации. Имеются случаи отказа и аварий РС (июнь 1998г., ноябрь 2008г. в Москве, январь 2007г. в Калининграде, июнь 2007г. в Казани и др.), ущерб от которых в некоторых случаях составлял до 15-20% от их общего количества. Анализ конструктивных форм РС показывает, что ветровая нагрузка является определяющей при их расчете. Существующие отечественные нормативные документы не рассматривают подобные сооружения и не учитывают специфику конструктивной формы РС.

В связи с этим исследование РС в этих направлениях является актуальным.

**Цель работы.** Уточнение характера распределения ветровой нагрузки и её учет при вероятностном расчете рекламных сооружений (РС).

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- численное моделирование действия средней составляющей ветровой нагрузки на наиболее используемые типы РС, в т.ч. в условиях городской застройки;
- натурное экспериментальное исследование распределения средней составляющей ветровой нагрузки, НДС основных несущих элементов и параметров колебаний РС;
- исследование распределения средней составляющей ветровой нагрузки по поверхности РС в аэродинамической трубе;
- разработка методики вероятностного расчета РС на уточненную ветровую нагрузку, позволяющей оптимизировать параметры РС с учетом возможных потерь.

**Научная новизна работы заключается в следующем:**

- адаптирован и реализован численный метод – метод дискретных вихрей (МДВ) для моделирования ветровой нагрузки на РС со сравнением полученных результатов с данными эксперимента и данными других численных методов (метод конечного объема (МКО));
- уточнены значения аэродинамического коэффициента средней составляющей ветровой нагрузки при расчете РС в городской застройке;

- выполнена сравнительная оценка результатов численных методов с экспериментальными данными и разработаны рекомендации по проектированию РС;

**Практическая значимость работы:**

- уточнено распределение средней составляющей ветровой нагрузки по поверхности наиболее применяемых типов РС;
- показано, что рассматриваемые численные методы могут использоваться при решении аналогичных задач;
- разработаны рекомендации по проектированию РС с учетом городской застройки;
- разработана и апробирована методика комплексного наблюдения за состоянием сооружения с регистрацией параметров ветровой нагрузки, НДС элементов и параметров колебаний;
- разработана вероятностная методика расчета, позволяющая оптимизировать параметры РС с учетом возможных потерь.

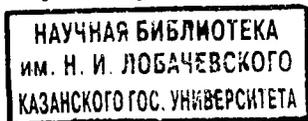
**Реализация результатов:**

Результаты, полученные в диссертационной работе, приняты в проекте редакции СНиП «Нагрузки и Воздействия» и «Регламента размещения средств наружной рекламы и информации в городе Казань».

Реализация результатов исследований осуществлялась при расчете и конструировании различных конструктивных решений РС при выполнении хоздоговорных работ по текущим темам в г. Казани (12 объектов) и Ярославле (2 объекта).

**На защиту выносятся:**

- результаты численного моделирования действия средней составляющей ветровой нагрузки для наиболее используемых типов РС, полученные методами МДВ и МКО;
- результаты натурного экспериментального исследования распределения средней составляющей ветровой нагрузки по поверхности, НДС основных несущих элементов и параметров колебаний РС на двух объектах;
- исследование распределения ветровой нагрузки по поверхности РС в аэродинамической трубе;
- рекомендации по проектированию РС, в том числе в городской застройке;
- методика вероятностного расчета РС, позволяющая оптимизировать параметры РС с учетом возможных потерь.



## **Апробация работы**

Основные результаты выполненных исследований доложены на научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава КГАСУ 2004÷2009 годов; на международной научно-практической конференции “Строительство-2008” РГСУ (г. Ростов) в 2008 году; на международной конференции “Relmas’2008” СПбГПУ в 2008 году; на научном симпозиуме “Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений” (Нижний Новгород) в 2007 году; на международной научно-технической конференции “Строительство. Коммунальное хозяйство” УГНТУ (г Уфа) в 2006 году; на VI международной конференции “Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения” СПбГПУ в 2005 году; на научной сессии “Компьютерное моделирование и проектирование пространственных конструкций” МОО “Пространственные конструкции” в 2005 году, на международной научно-практической конференции “Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов” МарГТУ в 2004 году.

## **Публикации**

По материалам диссертации опубликовано 16 работ, в том числе 8 статей (4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК), 2 патента РФ.

## **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и приложений. Работа изложена на 153 листах машинописного текста, содержит 27 таблиц и 83 рисунка. Список литературы включает 133 наименования.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, определено ее значение и направленность. Дана общая характеристика работы, сформулированы цель и задачи исследований.

В **первой главе** проведен: 1) обзор научно-технической и нормативной литературы в областях аналитического, экспериментального и численного исследований действия ветра; 2) обзор работ посвященных вопросам теории надежности строительных конструкций; 3) анализ наиболее применяемых РС на примере г. Казани.

Основы аналитического и экспериментального исследования действия ветра заложены в трудах ученых: Д.Бернулли, Ж.Л.Даламбера, О.Рейнольдса, Д.Стокса, Н.Е.Жуковского, Л.Прандтля, Т.фон Кармана и др. Их исследования

продолжены в работах советских ученых: П.М.Ширманова, С.М.Горлина, А.Д.Гиргидова, А.М.Мхитаряна, С.И.Девнина, Н.Ф.Краснова и др.

Изучением скорости, направления ветра и вероятности его повторения на территории СССР (России) занимались Л.Е.Анапольская, М.М.Борисенко, М.В.Заварина Л.Б.Гарцман и др.

В работах С.М.Белоцерковского, И.К.Лифванова, А.В.Сетухи, О.М.Белоцерковского, С.И.Дубинского, А.В.Атаманчука и др. отражены исследования в области численного моделирования ветрового воздействия.

Исследованиями в области ветровых нагрузок на здания и сооружения занимались советские и российские ученые Э.И.Реттер, А.Г.Соколов, Г.А.Савицкий, И.М.Беспрозванная, Ф.Л.Серебровский, А.С.Бернштейн, М.Ф.Барштейн, М.И.Казакавич, Е.Н.Ермилова, Ю.К.Мелашвилли, А.А.Петров, Н.А.Попов, Б.В.Остроумов, С.Г.Кузнецов и др. Из зарубежных исследователей можно выделить А.Г.Davenport, Е.Simiu, R.H.Scanlan, N.J.Cook, Y.Tamura, A.Kareem, G.Solari и др.

Создание и совершенствование теории надежности строительных конструкций связано с именами Н.Ф.Хоциалова, Н.С.Стрелецкого, А.Р.Ржаницина, В.В.Болотина, А.В.Геммерлинга, А.М.Арасланова, Ю.А.Веселова, Д.Б.Демченко, В.Д.Райзера, А.С.Лычева, Н.Н.Складнева, Б.И.Снарскиса, С.Ф.Пичугина, А.В.Перельмутера и др.

Обзор исследований показывает, что, несмотря на достижения в области расчета РС на ветровую нагрузку, имеется ряд вопросов, которые требуют дополнительного изучения.

Во второй главе рассмотрены вопросы численного моделирования ветровой нагрузки на РС с помощью метода дискретных вихрей (МДВ), реализованного в ПК «*AERECOPLATE*», созданном в ВВИА им. Жуковского.

Моделирование осуществлялось в два этапа:

1. Первый этап - «**верификационный расчет**» с определением параметров моделирования расчета ветровой нагрузки на ПК «*AERECOPLATE*».

Второй этап - «**моделирование ветровой нагрузки**» с определением аэродинамических характеристик для РС: плоских и призматических отдельно стоящих и плоских РС, расположенных группой при различных направлениях ветровой нагрузки (рис. 1).

При моделировании варьировались параметры: для плоских РС (рис. 1а) – соотношение сторон  $\lambda = b/h$  в интервале  $0.1 \leq \lambda \leq 10$ ; для призматических РС высотой 3 м (рис. 1б) соотношения сторон: призма 1, размеры в основании –

6х6х6 м; призма 2 – 6х9х9 м; призма 3 – 6х12х12 м; призма 4 – 6х15х15 м; для плоских РС, расположенных группой, – расстояние между плоскими РС - а (рис. 1в) и расстояниями а и с, между плоским РС и зданием (рис. 1г).

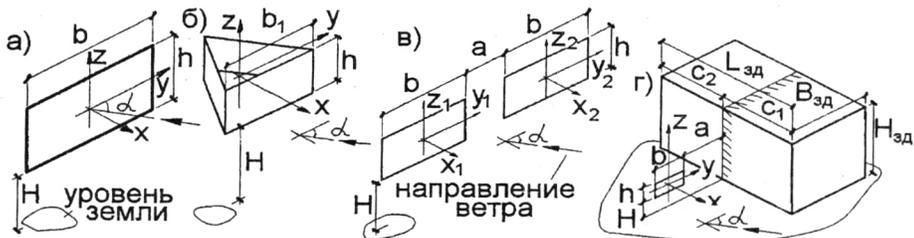


Рис. 1. Расчетные схемы рекламных сооружений (РС).

- а) плоское РС; б) призматическое РС; в) РС, расположенные группой;  
г) РС, расположенное рядом со зданием

Рассматриваемые РС относятся к сооружениям с плохо обтекаемой формой. Они имеют фиксированное положение отрыва ветрового потока расположенного по периметру РС. Численное моделирование ветровой нагрузки визуализирует нестационарный характер движения ветра: отрывное с крамок и безотрывное (плавное) перетекание вдоль крамок.

Результаты моделирования для плоских и призматических РС представлены на рисунках 2, 3 в виде зависимости значений аэродинамических коэффициентов  $c_e$  для плоского РС,  $c_x$ ,  $c_y$  - для призматического РС в связанной системе координат и относительного эксцентриситета приложения равнодействующей ветровой нагрузки  $e_a = e/b$  от направления ветра  $\alpha$ .

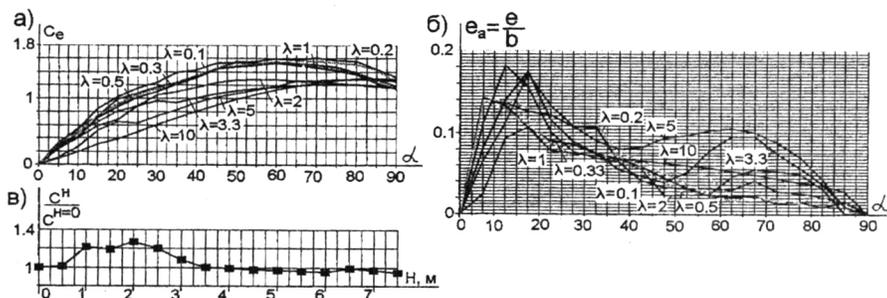


Рис. 2. Изменение  $c_e$  (а) и  $e_a$  (б) в зависимости от  $\alpha$  для плоских РС (рис.

1а) с соотношением сторон  $0.1 \leq \lambda \leq 10$ , изменение  $c_e$  в зависимости от  $H$  (в).

Из графиков, приведенных на рисунке 2а, хорошо видно, что максимальное значение  $c_e$  для РС с  $\lambda \leq 1$  соответствует направлению  $\alpha \approx 45^\circ$ , для РС  $\lambda \geq 10$   $\alpha \approx 90^\circ$ , а для РС с  $1 < \lambda < 10$  имеет промежуточное положение.

Максимальное значение  $e_a$  (рис. 2б) для плоских РС соответствует направлению  $\alpha = 10^\circ + 15^\circ$ . Полученные зависимости объясняются характером обтекания РС в зависимости от соотношения сторон  $\lambda$  и изменения  $\alpha$ .

Также рассматривалось влияние положения РС относительно уровня земли на примере плоского РС с соотношением сторон  $\lambda = 2$  (рис. 2в), из которого следует, что для РС, нижняя кромка которых располагается ниже 3м от уровня земли, значение  $c_x$  следует увеличивать на 10%.

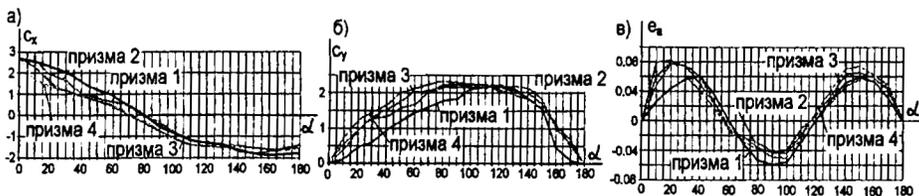


Рис. 3. Изменение  $c_x$  (а),  $c_y$  (б) и  $e_a$  (д) в зависимости от  $\alpha$  для призматических РС в связанной системе координат

Анализ графиков, приведенных на рисунке 3, показывает, что максимальные значения  $c_x$  соответствуют направлению  $\alpha = 0^\circ$ , максимальные значения  $c_y$  соответствуют направлению  $\alpha = 100^\circ - 110^\circ$ , максимальные значения  $e_a$  соответствуют направлению  $\alpha = 10^\circ - 30^\circ$ . Значения  $c_{x1}$  и  $c_{y1}$  характеризуют удовлетворительное сходство значений при характерных углах действия ветра на равностороннюю призму: для  $c_{x1}$  при  $\alpha = 0^\circ$  и  $\alpha = 120^\circ$ ,  $\alpha = 60^\circ$  и  $\alpha = 180^\circ$  для  $c_{y1}$  при  $\alpha = 0^\circ$ ,  $\alpha = 60^\circ$ ,  $\alpha = 120^\circ$ ,  $\alpha = 180^\circ$  и  $\alpha = 30^\circ$ ,  $\alpha = 150^\circ$ , что свидетельствует о достоверности результатов моделирования.

Результаты моделирования для плоских РС1 и РС2 (рис. 1в) с  $\lambda = 2$ , расположенных на расстоянии  $a$  друг от друга по сравнению с аналогичными значениями для отдельно стоящих РС, представлены на рисунке 4.

Сравнение результатов моделирования ветровой нагрузки на РС, расположенных группой с отдельно стоящим РС (рис. 4а), позволяет выделить характерные зоны изменения  $c_x$  и  $e_a$  для РС1 и РС2 в зависимости от расстояния -  $a$  между РС и направления ветра  $\alpha$  (рис. 4б). **Зона А:** (при  $0 \leq a \leq 0.5b$  и  $90^\circ \geq \alpha \geq \alpha_A = 60^\circ$ ,  $\alpha_A$  - критическое направления ветра действия зоны А) увеличение  $c_x$  до 10% и  $e_a$  до 0.1 относительно значений отдельно стоящего РС. Изменение  $c_x$  в зависимости от расстояния -  $a$  имеет линейный характер и приведено на рисунке 4в; **Зона В:** (при  $0.5 \times b < a \leq b$  и  $90^\circ \geq \alpha \geq \alpha_B$ ,  $\alpha_B$  - критическое направления ветра действия зоны В, имеет переменное

значение в интервале  $90^\circ \geq \alpha_b \geq 60^\circ$ ), увеличение  $c_s$  до 5% без изменения  $e_s$  относительно значений отдельно стоящего РС. Изменение  $c_s$  в зависимости от расстояния между РС - а имеет линейный характер и приведено на рисунке 4в; **Зона С:** значения  $c_s$  и  $e_s$  для первого по направлению потока РС (PC1) соответствуют аэродинамическим характеристикам отдельно стоящего РС, а для второго (PC2) - наблюдается резкое падение  $c_s$  до нулевого значения и рост  $e_s$  до значения  $e_s \approx 0.35$ . Для оценки достоверности результатов моделирования РС, расположенных на расстоянии а друг от друга при  $a=0$ , проведено сравнение значений  $c_s = 1.232$  и  $c_s = 1.231$  для РС с  $\lambda = 4$  при направлении ветра  $\alpha = 90^\circ$ , которые характеризуют удовлетворительную точность.

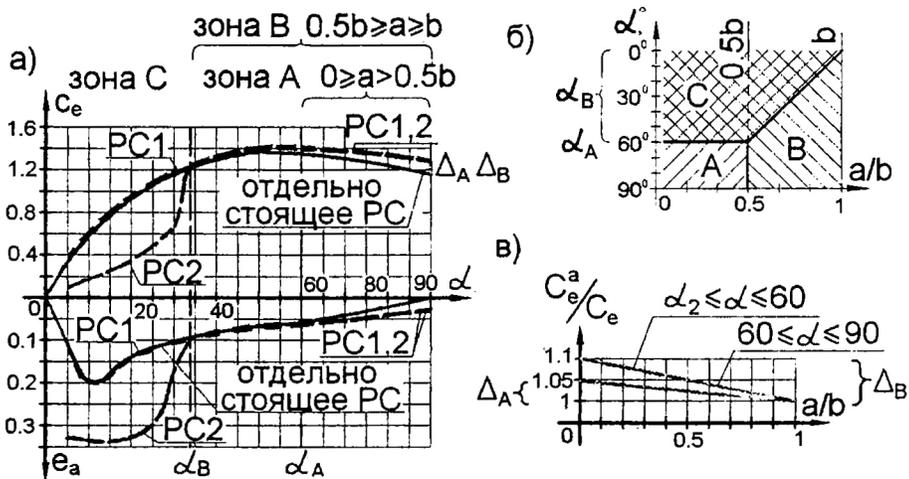


Рис. 4. Изменение  $c_{e1}$ ,  $c_{e2}$  и  $e_1$  и  $e_2$  для РС, в зависимости от изменения а.

На рисунке 5 приведены зависимости  $c_s$  и  $e_s$  для отдельно стоящего РС и РС расположенного рядом со зданием в «зоне влияния» при  $0^\circ \geq \alpha \geq 180^\circ$ . Размер «зоны влияния» определен в результате численного моделирования. Также в результате моделирования выявлена зона пристеночной турбулентности ветра вдоль здания шириной 1м, в которой значения  $c_s$  и  $e_s$  имеют переменное значение в интервале  $c_s = \pm 0.1$  и  $e_s \approx 0.35$ . Размер здания  $B_{зд} = 12м \times L_{зд} (24 + 48)м$ .

Изменение  $c_s$  в зависимости от расстояний а и  $c_1$  приведено на рисунке 5а, из которого видно, что максимальное значение наблюдается при  $c_1 = 3 + \frac{B_{зд}}{2} (м)$  и  $a = 1м$ . На рисунке 5б приведен характер изменения  $c_s$  и  $e_s$  в зависимости от направления ветра  $\alpha$  для РС, расположенного в «зоне влияния»

здания на различных расстояниях  $c_1$ . Так, для положения 1 ( $c_1 = 0$ ) выявлено незначительное увеличение  $c_e$  и  $e_a$  при  $90^\circ \geq \alpha \geq 130^\circ$ . Увеличение  $c_1$  до положения 2 ( $c_1 = 3 + \frac{B_{зд}}{2}$  (м)) приводит к увеличению  $c_e$  и  $e_a$  до направления ветра с предельным  $\alpha \approx 50^\circ$ , где РС попадает в зону влияния отрывного обтекания от здания, в которой  $c_e = \pm 0.1$  и  $e_a \approx \pm 0.35$ . Дальнейшее увеличение  $c_1$  приводит к уменьшению  $c_e$  и предельного значения  $\alpha$ , что видно по кривой для РС, находящегося в положении 3 рисунка 5б.

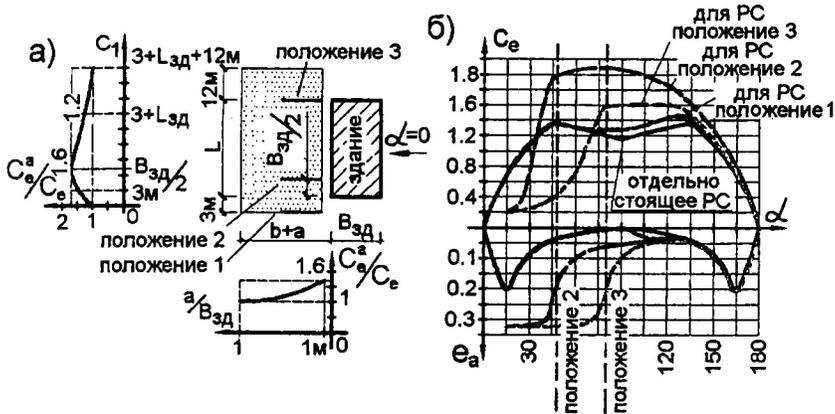


Рис. 5. Изменение  $c_e$  и  $e_a$  в зависимости от  $\alpha$  для плоского РС с  $\lambda = 2$ , расположенного рядом со зданием

Анализ результатов моделирования ветровой нагрузки проводится для отдельно стоящих плоских и призматических РС. По полученным зависимостям  $c_e$  и  $e_a$  от  $\alpha$  можно найти аппроксимирующую кривую вида  $c_e = f_c(\alpha) = a_1 \times \alpha^3 + a_2 \times \alpha^2 + a_3 \times \alpha + a_4$  и  $e_a = f_e(\alpha) = a_1 \times \alpha^5 + a_2 \times \alpha^4 + a_3 \times \alpha^3 + a_4 \times \alpha^2 + a_5 \times \alpha + a_6$ . Учитывая, что основные конструктивные типы РС имеют характерную расчетную схему, можно выразить основные силовые факторы (изгибающий момент  $M_{из}$ , перерезывающая сила  $Q_{пер}$  и момент кручения  $M_{кр}$ ) для наиболее ответственного элемента – стойки в опорном сечении и представить их в виде:

$$\begin{aligned}
 M_{из} &= A_1 \times (B \times w \times c_e) = A_1 \times B \times w \times f_c(\alpha) \\
 Q_{пер} &= A_2 \times (B \times w \times c_e) = A_2 \times B \times w \times f_c(\alpha) \\
 M_{кр} &= A_2 \times (B \times w \times c_e) \times e = A_3 \times B \times w \times f_c(\alpha) \times f_e(\alpha)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где,  $A_1, A_2, A_3$  - параметры геометрии РС,  $B$  - параметры нагрузки  $w$ .

Дифференцируя аппроксимированные зависимости по  $\alpha$  и находя корни уравнений (1), получаем «максимальные» значения углов  $\alpha_{\max}$  с максимальным значением соответствующего параметра ( $M_{\max}$ ,  $Q_{\max}$  и  $M_{кр}$ ).

Изменение  $\alpha_{\max}$  для рассмотренных плоских РС в зависимости от  $\lambda$  для максимальных  $M_{\max}$ ,  $Q_{\max}$  и  $M_{кр}$  приведены на рисунке 6.

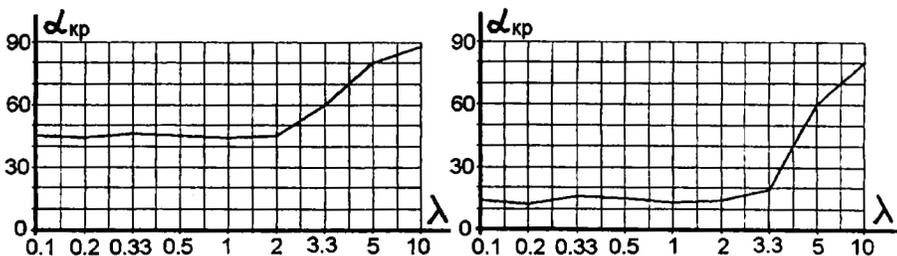


Рис. 6. Изменение «максимального» угла направления ветровой нагрузки  $\alpha_{кр}$  при максимальном значении  $M_{\max}$ ,  $Q_{\max}$  (а) и  $M_{кр}$  (б) в зависимости от  $\lambda$

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований отдельно стоящего плоского РС с размерами рекламной поверхности (РП)  $b \times h = 6 \times 3 \text{ м}$  ( $\lambda = 2$ ), с высотой от уровня земли до нижнего края РП -  $H = 5 \text{ м}$ . Экспериментальное определение ветровой нагрузки проводилось этапами: I этап – определение характеристик объекта исследования в аэродинамической трубе, II этап – определение характеристик объекта исследования в натуральных условиях.

I этап выполнялся в аэродинамической трубе на модели в масштабе 1:10. При составлении модели учитывались геометрические, кинематические и динамические критерии теории подобия. Эксперимент проводился в аэродинамической трубе Т101 Казанского государственного технического университета (КГТУ) им. Туполева. Регистрация распределенных характеристик осуществлялась методом дренажных трубок, концы которых подсоединялись к батарейному манометру с точностью измерения до 0.5 мм спиртового столба. Для регистрации интегральных характеристик ( $C_x$ ,  $C_y$ ,  $M_{кр}$ ) применялись аэродинамические весы с точностью по углу поворота –  $0.5^\circ$ , по измерению давления - 0.005 кгс. В процесс эксперимента регистрировались характеристики: распределенное давление по РП в характерных точках; изменение аэродинамических характеристик ( $C_x$ ,  $C_y$ ,  $M_{кр}$ ); наблюдение картины обтекания потоком ветра при различных направлениях ветра.

Регистрация исследуемых характеристик осуществлялась в скоростной и связанной системах координат. Результаты исследований в аэродинамической трубе приведены на рисунке 8.

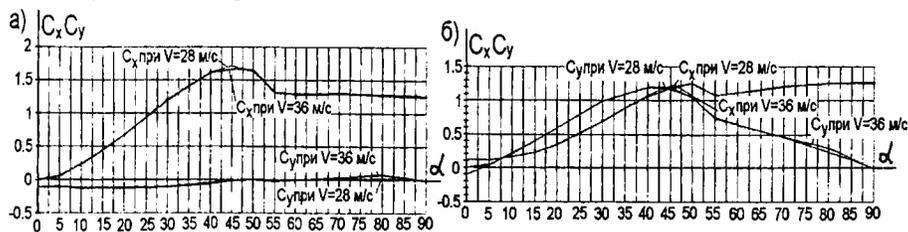


Рис. 8. Значение относительного эксцентриситета приложения равнодействующей ветровой нагрузки.

Сравнение качественной картины, распределенной по поверхности ветровой нагрузки, по результатам численного эксперимента и результата исследований в аэродинамической трубе приведено на рисунке 9.



Рис. 9. Сравнение результатов численного эксперимента и эксперимента в аэродинамической трубе.

II этап экспериментальных исследований (в натуральных условиях) выполнялся на двух рекламных щитах. В процессе II этапа эксперимента производилась регистрация: параметров ветровой нагрузки (датчики давления Hoppowell марки DC002NGR4 на системе измерений NI USB 6008 с ПО "LabVIEW"); напряжении в несущих элементах РС (тензодатчики завода ОКИО при ЦНИСК на системе измерений ММТС 64.01); амплитуд и частот колебаний элементов РС (вибродатчики ВЭГИК на системе измерений L-card).

Значение скорости ветра в процессе эксперимента определялось анемометром – термометром ИСП МГ 4.03. В процессе эксперимента функционирование всех систем измерений проводилось в режиме реального времени с последующей обработкой результатов. Принципиальная схема эксперимента приведена на рисунке 10.

Сравнение результатов экспериментально определенных напряжений при зарегистрированной скорости ветра  $V=7.4\text{ м/с}$  и направлении  $\alpha=90^\circ$  со значениями, определенными расчетом на ПК «Лира» при соответствующей ветровой нагрузке показали на удовлетворительную точность в пределах 7%. Результаты сравнения экспериментально определенных частот собственных

колебаний РС с расчетными данными показывают на удовлетворительное соответствие результатов в пределах 2%.

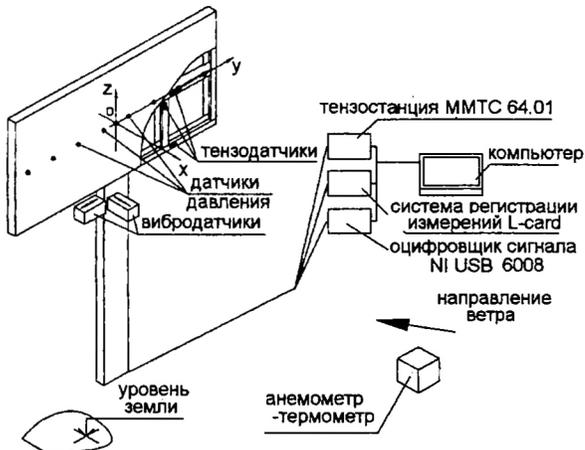


Рис. 10. Принципиальная схема эксперимента в натуральных условиях

По результатам экспериментов - численного, экспериментального, прошедшего в лабораторных и натуральных условиях, проведено сравнение характерных качественных и количественных показателей.

Сравнение  $c_x$  и  $e_a$  для численного моделирования (на ПК «AERECOPLATE» и ПК «Fluent») эксперимента в аэродинамической трубе и нормативных требований приведено на рисунке 11.

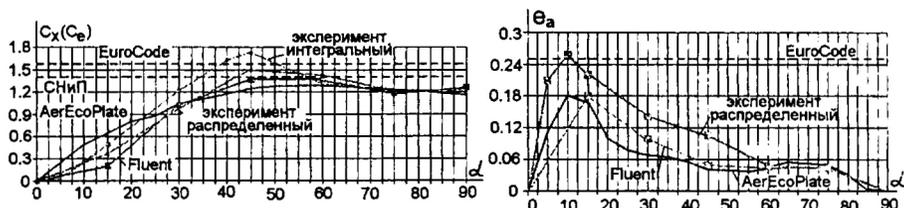


Рис. 11. Сравнение значений  $c_x$  по результатам численного эксперимента, эксперимента в аэродинамической трубе и нормативных требований

Качественные и количественные результаты численного моделирования средней составляющей ветровой нагрузки удовлетворительно соответствуют результатам эксперимента в аэродинамической трубе и определению ветровой нагрузки в городской застройке, причем в зоне «несущественного влияния отрывных обтеканий» погрешность составляет 7%, а в зоне «существенного влияния отрывных обтеканий»  $30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$  погрешность составляет 25%.

Четвертая глава посвящена разработке методики расчета РС на основе вероятностного подхода, позволяющей оптимизировать параметры РС с учетом возможных потерь.

В общем виде задачу нахождения оптимальных параметров сечений элементов РС при вероятностном расчете можно записать по условию

$$C = C_H + \prod_{i=1}^n (q_i \times Y) \rightarrow \min \quad (2)$$

где  $C$  - полные возможные затраты при эксплуатации РС;  $C_H$  - затраты связанные с изготовлением и установкой РС;  $Y$  - возможный ущерб при обрушении конструкции, зависящий от места установки;  $q_i$  - вероятность разрушения основных элементов РС. Вероятность разрушения элемента  $q_i$  определяется методами теории вероятности и записывается как функционал напряжений, включающий в себя основные геометрические параметры сечений. Полученное из условия 2 оптимальное значение параметров сечений РС позволяет обосновать назначение коэффициента надежности  $\gamma_n$ :

$$\gamma_n = \frac{P_{опт}}{P_{норм}} \quad (3) \quad P_{опт} - \text{оптимальный уровень надежности определенный из условия 2; } P_{норм} - \text{нормативный уровень надежности РС, запроектированного по СНиП.}$$

Для расчетной модели РС рассматриваются следующие случаи отказов, приводящих к обрушению: разрушение по сечению стойки; разрушение по сечению анкерных болтов; опрокидывание фундамента. Несущая способность стальных элементов РС величина случайная –  $R$  (кг/см<sup>2</sup>), которая описывается нормальным законом распределения. Ветровая нагрузка  $w$  (кг/м<sup>2</sup>) с уточненными во 2-ой главе параметрами определяется в зависимости от случайной величины - скорости ветра  $V$  по условию  $w = 0.061 \times V^2$  (кг/м<sup>2</sup>) и также является случайной величиной. При известном законе распределения нагрузки  $f_1(w)$ , можно найти закон распределения максимальных напряжений  $f_2(s)$  и вероятность разрушения РС для расчетного случая  $q_i$ .

Величина начальных затрат, связанных с изготовлением и монтажом, определяется от массы металла РС, которую можно выразить через геометрические параметры сечений элементов РС. Затраты, связанные с возможным ущербом при обрушении РС, можно классифицировать как материальный ущерб, включающий в себя повреждения РС и товарно-материальных ценностей (ТМЦ) в зоне обрушения и нематериальный ущерб

включающий в себя затраты, связанные с нарушением репутации владельца РС и причинением вреда здоровью людей, находящихся в зоне обрушения.

Графическая реализация условия полных затрат - кривая 5, 6, 7; затрат, связанных с изготовлением и монтажом РС,- кривая 1; затрат, связанных с возможными убытками, - кривая 2, 3, 4 в зависимости от геометрических параметров элемента РС приведена на рисунке 12.

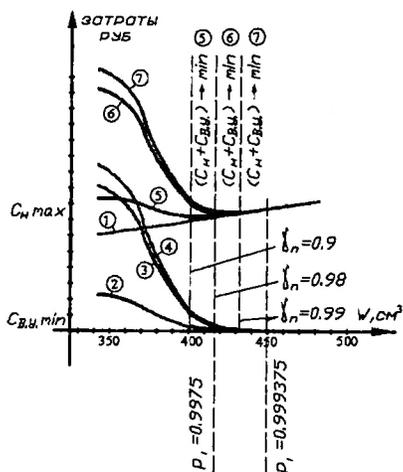


Рис. 12. Зависимость полных затрат для рассматриваемого РС от пластического момента сопротивления сечения стойки

Анализ изменения величины полных затрат для рассмотренных видов ущерба показывает оптимальные значения вероятности безотказной работы РС и определенные для них значения коэффициента надежности:

1 -  $\gamma_n = 0.9$  (кривая 5); 2 -  $\gamma_n = 0.98$  (кривая 6); 3 -  $\gamma_n = 0.99$  (кривая 7).

Данные уровни оптимальной надежности объясняются высокой долей затрат, связанных с возможным ущербом в общем значении величины полных возможных затрат.

Реализация результатов исследований осуществлялась при расчете и конструировании 14-ти различных конструктивных решений РС реализованных при строительстве в Республике Татарстан.

По результатам проведенных исследований сделаны следующие **выводы**:

(кривая 1 – условие начальных затрат; условия возможных затрат: 2 - в случае ремонта РС, 3, 4 - в случае ремонта, ухудшения репутации владельца, повреждения ТМЦ в зоне обрушения РС и возможных социальных потерь. Также на рис. 12 приведены ограничения по величине допустимой вероятности обрушения РС из учета социальных потерь  $p_i = 0.999375$ , для РС с возможным присутствием людей  $p_i = 0.9975$ , определенные в соответствии с методикой Лычева А.С., и определяют значение  $\gamma_n = 0.99$  по 3.

1. Разработана технология моделирования ветровой нагрузки и предложены параметры расчетных схем методом дискретных вихрей (МДВ) на ПК «*AERECOPLATE*» для определения ветровой нагрузки на РС.
2. Выполнены расчеты и проведено сравнение результатов моделирования ветровой нагрузки, полученных с помощью численных методов на ПК «*AerEcoPlate*» МДВ и ПК «*Fluent*» МКО. Точность моделирования составила: в зоне «несущественного влияния отрывных обтеканий» - 5%; в зоне «существенного влияния отрывных обтеканий»  $30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$  - 25%, что позволяет использовать численные методы для решения аналогичных задач.
3. Для плоских РС при малых отношениях  $\lambda = 0.1 - 3$  расчетным сочетанием является:  $c_e = 1.52$  с  $e_o = 0.15b$  при  $\alpha = 40^\circ - 50^\circ$ , что по обоим значениям незначительно меньше *EuroCode*.  
 При больших  $\lambda = 5 - 10$  расчетными сочетаниями являются:  $c_e = 1.3$  с  $e_o = 0$  при  $\alpha = 90^\circ$ , что существенно меньше значений *EuroCode*.
4. Для призматических РС треугольной формы максимальные значения аэродинамических характеристик в связанной системе координат следует принимать: для равносторонних -  $c_x = 2.5$  при  $\alpha = 0^\circ$ ,  $c_y = 2.1$  при  $\alpha = 100^\circ$ ,  $c_e = \sqrt{c_x^2 + c_y^2} = 2.5$  при  $\alpha = 0^\circ$  и  $\alpha = 120^\circ$ ,  $e_o = 0.06$  при  $\alpha = 30^\circ$ ; для равнобедренных -  $c_x = 2.7$  при  $\alpha = 0^\circ$ ,  $c_y = 2.3$  при  $\alpha = 100^\circ - 110^\circ$  (перпендикулярно длинной стороне),  $c_e = \sqrt{c_x^2 + c_y^2} = 2.7$  при  $\alpha = 0^\circ$ ,  $e_o = 0.06b$  при  $\alpha = 10^\circ - 20^\circ$  (направление ветра вдоль длинной стороны).
5. Для рядом расположенных плоских РС с  $\lambda = 2$  максимальное значение  $c_e$  увеличивается на 10% при расстоянии  $a \leq 0.5b$  между ними и на 5% - при  $a \leq b$ .
6. Для плоских РС с  $\lambda = 2$ , расположенных рядом со зданием, максимальное значение  $c_e$  следует принимать с коэффициентом 1.6 при расстоянии от стены  $a = 1m$  и от угла - на расстоянии половины ширины здания.
7. Для РС, нижняя кромка которых располагается ниже 3 метров от уровня земли, значение  $c_e$  следует увеличивать на 10%.
8. Экспериментальные значения напряжений в элементах РС с точностью до 7% совпадают с теоретическими значениями и подтверждают асимметричный характер приложения ветровой нагрузки при различных углах ветрового воздействия.

9. Экспериментальные собственные частоты ( $1 \div 1.5$  Гц) с точностью до 2% совпадают с теоретическими значениями колебаний РС.
10. Разработана методика расчета на основе вероятностного подхода, позволяющая оптимизировать параметры РС с учетом возможных потерь. Минимальное значение коэффициента надежности РС из учета экономических потерь следует принимать:  $\gamma_n = 0.9$ , из учета социальных потерь:  $\gamma_n = 0.99$ .

**Основное содержание диссертации опубликовано в работах:**

1. Козлов М.В. К вопросу распределения ветровых нагрузок на плоские пластины//Материалы 56-й республиканской научной конференции. Сборник научных трудов докторантов и аспирантов.-Казань: КГАСА, 2004. - С. 90-96.
2. Козлов М.В. Статическое распределение давления ветра на прямоугольной пластине при различных углах действия ветрового потока//Материалы 57-й республиканской научной конференции. Сборник научных трудов докторантов и аспирантов.-Казань: КГАСА, 2005. - С. 73-76.
3. Козлов М.В. Хусаинов Д.М. Оценка характеристики надежности типовых рекламных конструкций//Материалы 59-й республиканской научной конференции. Сборник научных трудов докторантов и аспирантов.-Казань: КГАСА, 2007. - С.50-54.
4. **Манапов А.З., Хусаинов Д.М., Козлов М.В. О силе и последствиях урагана 8 июля 2007 года//Известия КазГАСУ. №1(9)/2008.-Казань: КГАСА, 2008. - С. 76-82.**
5. Козлов М.В. К вопросу распределения ветровых нагрузок на плоские пластины//Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов: Материалы международной научно-практической конференции 18-21 мая 2004г.-Йошкар-Ола, 2004. - Ч.2. - С.217-220.
6. Шмелев Г.Н., Козлов М.В. О характере распределения ветровых нагрузок на отдельно стоящие плоские сплошные конструкции//Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения: Труды VI Междунар. Конф. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2005. – С. 452-456.
7. Шмелев Г.Н., Козлов М.В., Крупин В.П. Моделирование ветрового воздействия на плоские прямоугольные поверхности//Новые конструктивные решения пространственных покрытий и перекрытий зданий

- и сооружений: Тезисы докладов научной сессии. М.: Организационный комитет МОО «Пространственные конструкции», 2005. –С.79-80.
8. Козлов М.В., Шмелев Г.Н., Крупин В.П. Использование программных комплексов при расчете сооружений на ветровую нагрузку// Проблемы строительного комплекса России. Материалы X юбилейной международной научно-технической конференции 1-3 марта 2006г.-Уфа, 2006. - Т.1. - С.139-140.
  9. Шмелев Г.Н., Козлов М.В., Крупин В.П. Применение метода дискретных вихрей при моделировании средней составляющей ветровой нагрузки на рекламные сооружения//Проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений. Тезисы симпозиума 5-8 июня 2007г.- Н.Новгород, 2007. - С.70-71.
  10. Шмелев Г.Н., Козлов М.В. Моделирование статической составляющей ветрового воздействия на сооружения рекламного назначения//Промышленное и гражданское строительство.2007,№9-С.47-48.
  11. Gennady N. Shmelev, Maxim V. Kozlov, Vladimir P. Krupin. The simulation of a wind load on advertising structures using the discrete whirlwind method// International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. Vol 3, Is 2, 2007.-p.45-49.
  12. Хусаинов Д.М., Козлов М.В. Определение надежности типовых рекламных конструкций//Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения: Труды Междунар. Конф. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – С. 452-456.
  13. Козлов М.В., Хусаинов Д.М., Шмелев Г.Н. Проектирование типовых рекламных конструкций с заданным уровнем надежности//«Строительство 2008»: Материалы юбилейной международной научно-практической конференции.-Ростов н/Д: РГСУ, 2008. - С.62-63.
  14. Кузнецов И.Л. Шмелев Г.Н. Исаев А.В. Козлов М.В. Рекламный щит. Патент РФ. № 2243596 от 01.04.2003. М. Кл. G 09 F 15/00. Бюллетень № 36 от 27.12.2004.
  15. Кузнецов И.Л. Шмелев Г.Н. Исаев А.В. Рекламный щит. Патент РФ. №2250514 от 10.11.2002. М. Кл. G 09 F 15/00. Бюллетень № 11 от 20.04.2005.
  16. Шмелев Г.Н., Козлов М.В., Крупин В.П. Экспериментальное определение ветровой нагрузки, напряженно-деформированного состояния и колебаний рекламного сооружения//Промышленное и гражданское строительство. 2009, №10. -С.16-19.

Корректурa автора

---

Подписано в печать 30.10.09

Формат 60x84/16

Заказ 603.

Печать ризографическая

Усл.–печ.л. 1,0

Тираж 100 экз.

Бумага офсетная

---

Печатно-множительный отдел КазГАСУ.

420043, Казань, Зеленая, 1

10 =