



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS**

№2, ТОМ 13 (2007) 65-78

УДК 628.517

(07)-0133-1

ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ НАВІСУ НАД ГЛЯДАЦЬКИМИ ТРИБУНАМИ СТАДІОНУ ФК «ДНІПРО» В МІСТІ ДНІПРОПЕТРОВСЬКУ

І.М. Лебедич^а, Р.М. Павловський^б, О.І. Жданов^б

*^аІнститут сталевих конструкцій «УкрНДІпроектстальконструкція» ім. В.М. Шимановського,
просп. Визволителів, 1, Київ, 02660, Україна.*

*^бНаціональний авіаційний університет, кафедра аеродинаміки і льотної експлуатації,
пр. Космонавта Комарова, 1, Київ, 03058, Україна.
E-mail: ann_etta@ukr.net*

Отримана 4 квітня 2007; прийнята 20 квітня 2007

Анотація. Наведено результати експериментальних досліджень в аеродинамічних трубах Національного авіаційного університету моделей стадіону ФК «Дніпро» у місті Дніпропетровську, виготовлених в масштабах М 1:300 та М 1:120. Моделювання геометричних параметрів здійснено на основі архітектурних рішень проектно-технологічного архітектурного бюро союзу архітекторів України «Ю.Серьогін» та проекту покриття, що розроблений інститутом «УкрНДІпроектстальконструкція» ім. В.М. Шимановського. Показаний несприятливий вплив відкритих щілин між глядацькими трибунами та навісом на вітрові навантаження на навіси. Був проведений аналіз розподілу коефіцієнтів статичного тиску повітряної течії на верхній та нижній поверхнях навісу. Урахування фактичних вітрових навантажень на навіси дозволило зменшити металомісткість конструкцій навісу над трибунами стадіону на 10-15%.

Ключові слова: конструкції покриття стадіону, моделювання, експериментальні дослідження в аеродинамічних трубах, вітрові навантаження, аеродинамічні особливості.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ НАВЕСА НАД ЗРИТЕЛЬСКИМИ ТРИБУНАМИ СТАДИОНА ФК «ДНЕПР» В ГОРОДЕ ДНЕПРОПЕТРОВСКЕ

И.Н. Лебедич^а, Р.Н. Павловский^б, А.И. Жданов^б

*^аІнститут сталевих конструкцій «УкрНДІпроектстальконструкція» ім. В.Н. Шимановського,
просп. Освободителів, 1, Київ, 02660, Україна.*

*^бНаціональний авіаційний університет, кафедра аеродинаміки і льотної експлуатації,
пр. Космонавта Комарова, 1, Київ, 03058, Україна.
E-mail: ann_etta@ukr.net*

Получена 4 апреля 2007; принята 20 апреля 2007

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований моделей стадиона ФК «Днепр» в городе Днепропетровске, выполненных в масштабах М 1:300 и М 1:120, в аэродинамических трубах Национального авиационного университета. Моделирование геометрических параметров осуществлено на основе архитектурных решений проектно-технологического архитектурного бюро Союза архитекторов Украины «Ю. Серегин» и разработанного институтом «УкрНДІпроектстальконструкція» ім. В.Н. Шимановського проекта покрытия. Показано неблагоприятное влияние открытых просветов

между зрительскими трибунами плоскостью покрытия на ветровые нагрузки на навес. Представлены эпюры распределения коэффициентов статического давления воздушного потока на верхней и нижней поверхностях навеса. Учет фактических ветровых нагрузок на навесы позволил снизить металлоемкость конструкций навеса над трибунами стадиона на 10-15%.

Ключевые слова: конструкции покрытия стадиона, моделирование, экспериментальные исследования в аэродинамических трубах, ветровые нагрузки, аэродинамические особенности.

ANALYSIS OF AERODYNAMIC FEATURES OF THE OVER-STAND ROOF IN DNEPROPETROVSK FC "DNIPRO" STADIUM

I.M. Lebedich^a, R.M. Pavlovsky^b, O.I. Zhdanov^b

^a*Open Joint-Stock Company «V.Shimanovsky Ukrainian Research and Design Institute of Steel Construction», 1, Osvoboditelei Ave., 02660 Kyiv, , Ukraine.*

^b*National Aviation University, Aerodynamics and Airplane Operation Department,
1, Kosmonavta Komarova Ave., 03058 Kyiv, Ukraine.
E-mail: ann_etta@ukr.net*

Received 4 April 2007; accepted 20 April 2007

Abstract. The paper presents the results of the experimental study of the FC "Dnipro" Stadium models in Dnipropetrovs'k made on 1:300 and 1:120 scale in wind tunnels of the National Aviation University. Geometrical parameters modeling is carried out on the basis of the architectural silutions of Yu. Seryogin Design Bureau of the Ukrainian Community of Atchitects and the roofing design made by OJSC "V. Shimanovsky UkrRDISTeelconstruction". A detrimental effect of of openings between the stands by the roofing plane to the wind loads on roofing is shown. The profiles of air flow static pressure roof on the upper and lower surfaces are given. The accuracy of wind loads on the roofs allows to decrease the specific metal amount of the stadium force framework by 10-15 per cent.

Keywords: stadium roofing, modeling, experimental study in wind tunnels, wind loads, aerodynamic features.

Введение

Определение ветровых нагрузок на инженерные сооружения различного назначения, таких как многоэтажные здания, мосты, телевизионные башни, большепролетные покрытия стало необходимой практикой при их разработке и строительстве. Стадион в г. Днепропетровске с большепролетным консольным покрытием над зрительскими трибунами явился одним из таких объектов, для которого решено было выполнить комплексные экспериментальные исследования влияния ветровых воздействий на конструкции покрытия и определить характер аэрационного режима на игровом поле в аэродинамических трубах Национального авиационного университета Украины.

Несколько слов о конструктивных решениях, принятых для стадиона в г.Днепропетровске (рис. 1).

Стадион для спортивного клуба «Днепр» запроектирован, исходя из международных стандартов, с вместимостью трибун на 30 тысяч зрителей и предназначен для проведения футбольных состязаний самого высокого уровня. В соответствии с требованиями ФИФА зрительские трибуны по всему периметру стадиона защищены от атмосферных воздействий навесами. Консольные навесы решены в виде пространственной системы консольных ферм с легким покрытием по профилированному настилу.

Основными несущими конструкциями являются трубчатые плоские фермы, располагаемые по периметру стадиона с шагом 10.2-10.6м. По фермам в поперечном направлении устанавливаются прогоны, непосредственно несущие кровельную систему. Консольный вылет ферм от опор достигает 30 м. Задние концы ферм, свешивающиеся за тыльный торец

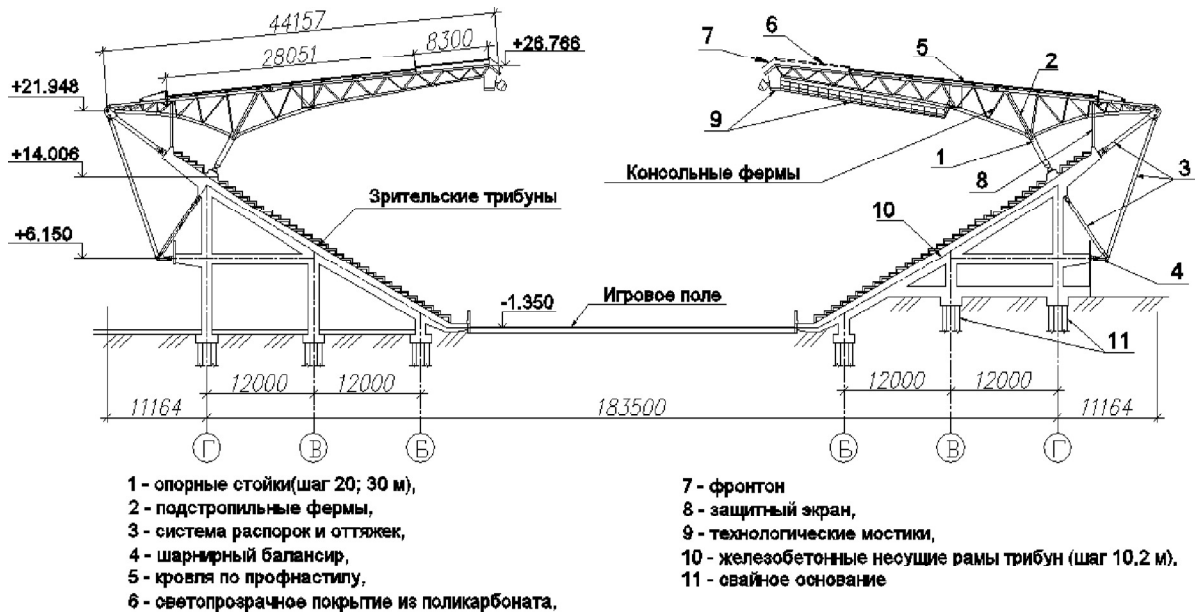


Рис. 1. Принципиальная конструктивная схема поперечника стадиона.

зрительских трибун, закрепляются системой распорок и оттяжек к железобетонному каркасу чаши трибун. Принимая во внимание масштабы сооружения (площадь навеса составляет около 18 тыс. кв.м.) и большой вылет консольного свеса козырька над трибунами, конструкцию покрытия можно отнести к разряду уникальных объектов. Поскольку, как говорилось выше, одной из основных нагрузок для такого рода сооружений является ветровая, правильное определение аэродинамических факторов воздействий во многом определяет принимаемые конструктивные решения и их экономичность.

Нетрудно представить себе, что огромная консольная плита навеса над трибунами является достаточно гибкой и деформативной системой, выполнить которую изящной с архитектурной точки зрения конструктивно не так-то просто. Для этого нужно продумано и рационально задать геометрическую форму и тщательно изучить силовые воздействия на систему.

Особенностями аэродинамической компоновки навесов над трибунами рассматриваемого стадиона являются значительная общая площадь навесов, наклон навесов во внешние стороны под углом $6,5^\circ$, большой проем в центральной части навеса над игровым полем, крутой подъем (под углом 30°) зрительских трибун.

Как известно [1, 2], при обдувке воздушным потоком изолированной плоской пластины под малыми углами атаки имеет место безотрывное обтекание, что инициирует возникновение достаточно значительной по своей величине подъемной аэродинамической силы. В реальной конструктивной компоновке навеса стадиона сзади за трибунами присутствует система вертикальных стеновых панелей, которые являются преградой для воздушных потоков под нижней поверхностью навеса. В некоторых случаях, например, с целью улучшения аэрационного режима над игровым полем и зрительскими трибунами в задних стеновых панелях устраивают проемы для прохода через них воздуха из застойных зон.

В связи с тем, что на сегодняшний день в нормативной базе отсутствуют конкретные рекомендации для назначения расчетных ветровых нагрузок на навесы пространственных сооружений со сложной конфигурацией [3], был избран способ их определения путем физического моделирования обтекания моделей стадиона в аэродинамических трубах Национального авиационного университета (НАУ). Были изготовлены: модель (М 1:300) типового участка стадиона с трибунами и навесами и полная модель (М 1:120) стадиона (рис.2, 3, 4, 5). Обе модели имели дренажи на

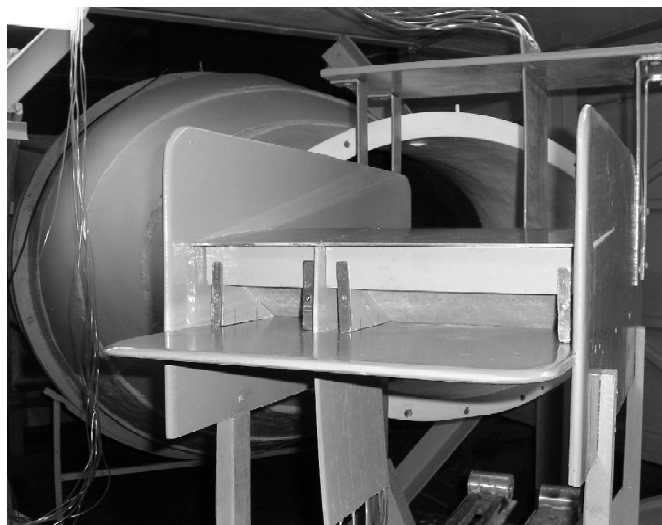


Рис. 2. Фото модели отсека стадиона в УТАД-2.

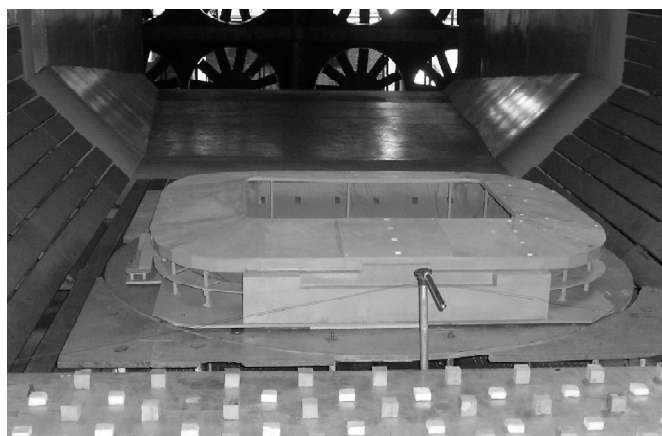


Рис. 3. Фото модели стадиона в ТАД-2 НАУ.

верхних и нижних поверхностях навеса для определения величин воздушного давления в ветреную погоду. Продувки полной модели стадиона осуществлялись в диапазоне азимутов ветра 0...360°.

Предшествующий опыт и предпосылки исследований

На протяжении более тридцати лет, а особенно интенсивно в последние 10 лет, на кафедре аэродинамики и легкой эксплуатации НАУ проводятся экспериментальные исследования ветровых воздействий на модели различных по архитектуре и форме наземных зданий и сооружений. Определялись величины распределения

воздушного давления на внешние поверхности стен высотных сооружений, интегральные шестикомпонентные аэродинамические силы и моменты, частоты аэродинамических колебаний конструкции на упругоподобных моделях, спектральные характеристики спутного турбулентного следа за разнесенными в пространстве элементами конструкции, влияние уплотнения высотными зданиями на эффективность вытяжных вентиляционных систем существующих 3-5 этажных жилых застроек с водонагревными газовыми колонками. Из наиболее значимых исследований можно назвать исследования динамически подобной модели монумента Независимости Украины в г. Киеве [4]. В 2004-2006 гг. были исследованы ветровые нагрузки на

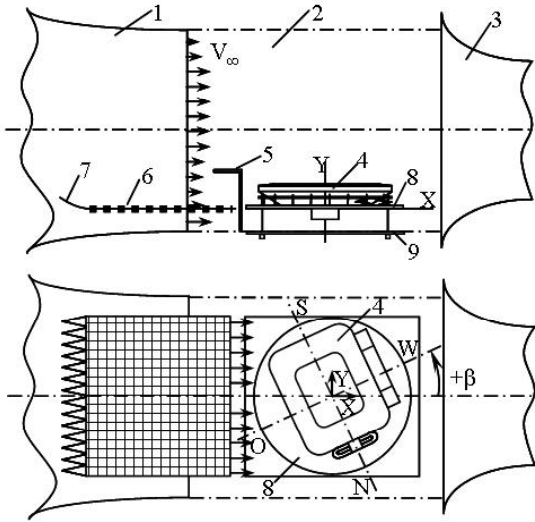


Рис. 4. Общая схема компоновки модели стадиона и турбулизаторов в рабочей части аэродинамической трубы ТАД – 2 НАУ:

1 – сопло; 2 – рабочая часть; 3 – диффузор; 4 – модель стадиона; 5 – приемник воздушных давлений; 6 – элементы шероховатости; 7 – генераторы вихрей; 8 – дополнительный поворотный круг; 9 – штатный поворотный круг ПК-2.

оригинальные архитектурные высотные здания в Большой Ялте в Крыму, а также для высотного здания в районе Позняки г. Киева [5]. Определялись условия возникновения аэроупругих колебаний композиции креста Собора Украинской греко-католической церкви г. Киева [6]. Следует также упомянуть достаточно богатый опыт аэродинамических исследований

большепролетных сооружений, накопленный в ЦАГИ им. Н.Е.Жуковского.

Все эти и другие аналогичные исследования ветрового воздействия на оригинальные здания и сооружения показали, что имеются значительные отличия реальных ветровых нагрузок от рекомендаций, которые в виде упрощенных формализованных схем содержатся в технической литературе и строительных нормативных документах [1, 3].

Постановка задачи

На первом этапе работ было решено выполнить дренажные и визуальные исследования в аэродинамической трубе УТАД-2 модели масштабом 1:300 типового отсека прямого участка стадиона с различными вариантами конструктивного решения задней стеновой панели, находящейся за последним рядом зрительской трибуны, и на основе этого эксперимента выбрать конфигурацию конструкции, которая обеспечила бы минимальные ветровые нагрузки на навес над зрительскими трибунами.

С целью более точного определения распределения воздушного давления на нижней и верхней поверхностях навеса стадиона на втором этапе эксперимента на крупномасштабной модели М 1:120 полной конфигурации стадиона ФК «Днепр» выполнялись дренажные исследования в большой аэродинамической трубе ТАД-2. При крупномасштабном физическом моделировании воспроизводились условия пространственного обтекания стадиона в целом

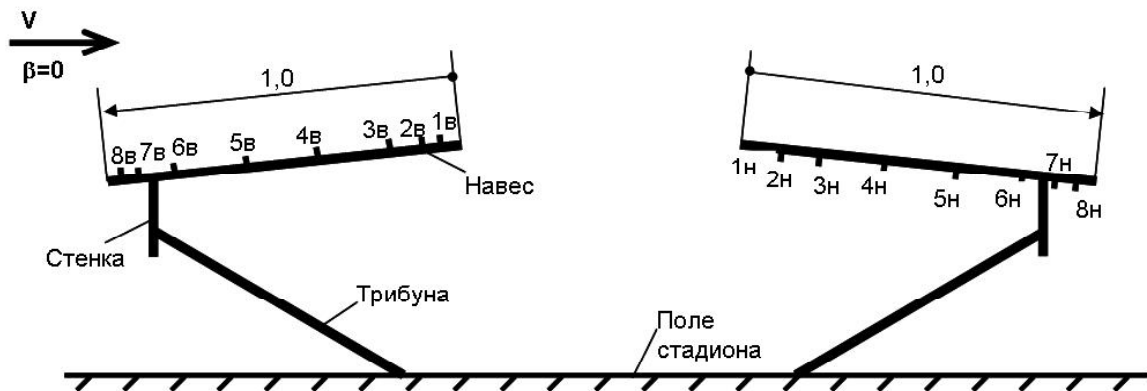


Рис. 5. Схема дренажа на навесах модели отсека.

при значительно увеличенном критерий подобия по числам Рейнольдса с $Re = 0,3 \cdot 10^6$ (УТАД-2) до $Re = 1,1 \cdot 10^6$ (ТАД-2). При этом представилась возможность дренажные исследования выполнить в толстом возмущенном приземном пограничном слое, который создавался моделированием влияния соседних застройке кварталов города. В пределах футбольного поля определялись коэффициенты скорости воздушных потоков для общей оценки аэрационного режима на уровне двух метров над поверхностью игрового газона в ветреную погоду.

Результаты анализа экспериментальных исследований

Исследования модели отсека стадиона (первый этап)

Исследования модели отсека стадиона (рис. 5) выполнены в аэродинамической трубе УТАД-2 замкнутого типа. Эта аэродинамическая труба имеет открытую рабочую часть с выходным сечением сопла эллиптической формы размером $0,75 \times 0,42$ м, длиной 0,9 м и максимальную скорость воздушного потока 32 м/с.

Результаты экспериментальных дренажных исследований модели М 1:300 отсека навеса над трибунами представлены в виде графиков зави-

симостей осредненных разностей коэффициентов давления $\Delta \bar{P}_i$ от относительной координаты расположения дренажной точки \bar{x} на верхней и нижней поверхностях навеса (рис. 6). В процессе исследований модели отсека стадиона воздушный поток направлялся только поперек навеса. Анализ полученных результатов позволяет отметить следующие особенности распределения воздушного давления по поверхностям навеса.

При условном отсутствии зрительских трибун отсеки поверхностей навеса создают tandemную аэродинамическую компоновку наподобие крыла и горизонтального оперения самолета. За передними кромками, обращенными навстречу воздушному потоку, существуют зоны со значительными отрицательными коэффициентами давления до $\bar{P} = -1,16$, а суммарный перепад давления в этих зонах достигает $\Delta \bar{P} = \bar{P}_{\text{верх}} - \bar{P}_{\text{низ}} = |1,62|$.

В реальной компоновке стадиона присутствие зрительских трибун с протоком воздуха между верхним краем трибун и навесом снижает пиковые уровни коэффициентов давления до $\bar{P} = -0,79$. При этом суммарный перепад давления на передней кромке навеса также снижается до $\Delta \bar{P} = |1,0|$.

Дальнейшее снижение величины коэффициента давления происходит при перекрытии щели между верхним краем трибун и навесом.

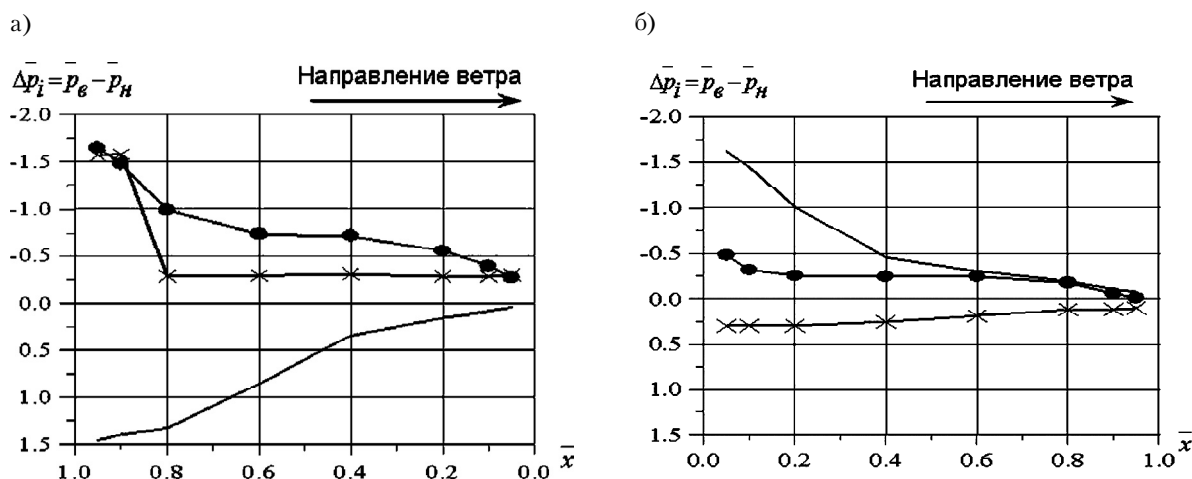


Рис. 6. Распределение разности коэффициентов воздушного давления на верхней и нижней поверхностях навеса по левому (а) и правому (б) навесам в случаях:

- — — — — отсутствие зрительских трибун;
- наличие протока воздуха между верхними рядами трибун и навесом;
- *—*—*— без протока воздуха между верхними рядами трибун и навесом.

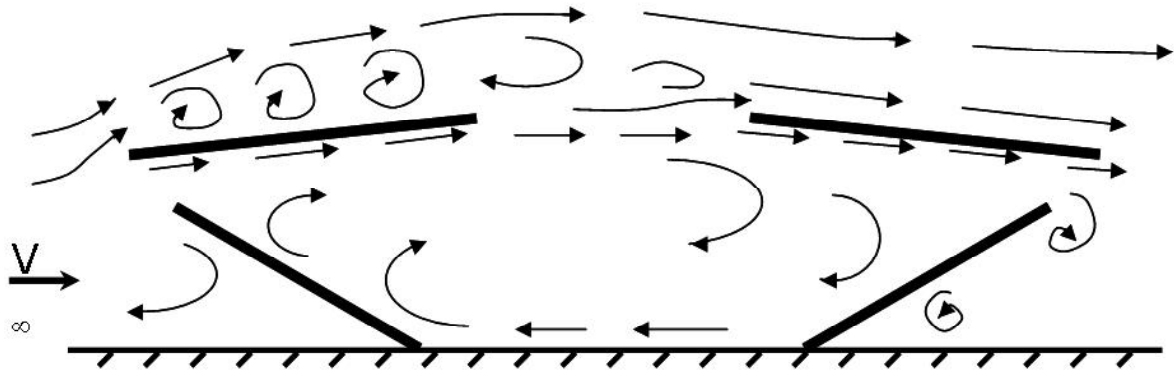


Рис. 7. Визуализация течения при наличии протока.

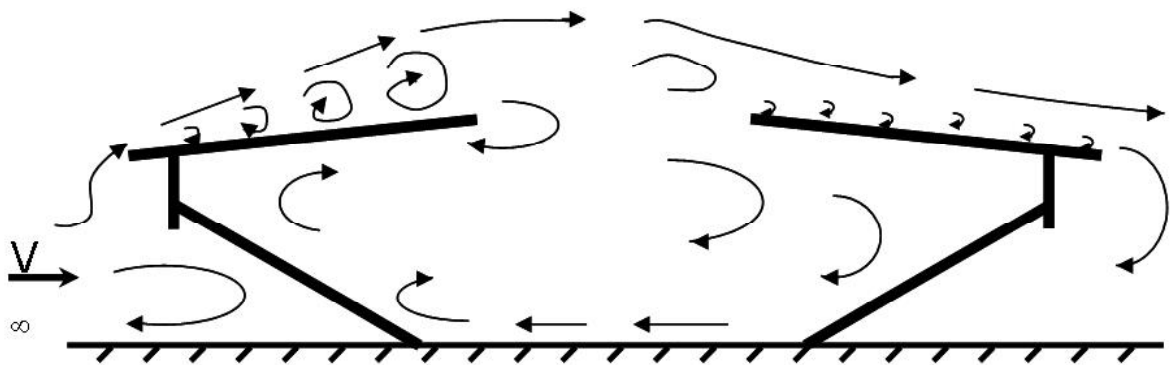


Рис. 8. Визуализация течения без протока.

В этом варианте компоновки поперечного сечения стадиона «без протока воздуха» минимальное значение коэффициента давления равно $\bar{P} = -0,63$, а суммарный перепад давления снижается до $\Delta\bar{P} = |0,3|$.

Визуальными исследованиями (рис.7, 8) установлено, что внутри чаши стадиона в ветреную погоду будут существовать интенсивные перемещения воздушных масс, создающие благоприятную аэрационную обстановку. Непосредственно по поверхности игрового поля наблюдались устойчивые потоки, направленные в сторону, противоположную направлению ветра над стадионом.

Исследования модели полной конфигурации стадиона (второй этап).

Объектом исследования в аэродинамической трубе ТАД-2 являлась модель полной конфигурации стадиона, изготовленная в масштабе $M 1:120$ относительно натуре.

Как было отмечено выше, коэффициенты давления, измеряемые в точках дренирования, определялись по сечениям парно – соответственно на верхней и нижней поверхностях отсека. Это означает, что по результатам таких измерений можно оценить, с какой интенсивностью ветровые потоки действуют отдельно на нижнюю и верхнюю плоскости кровельного «пирога», а с другой стороны, суммируя эти воздействия, можно оценить, с какой результирующей силой ветровые потоки воздействуют на консольное покрытие в целом, то есть на несущие фермы. Здесь следует обратить внимание, что наличие отсасывающих воздействий как на верхней, так и на нижней поверхностях покрытия (что имеет место в большинстве точек измерения) предопределяет интегральное воздействие на несущие системы покрытия в виде разности измерений. В нашем случае такой характер ветровых воздействий благоприятен для проектирования, поскольку приводит

к небольшим абсолютным значениям $D \bar{P}_i$ аэродинамических коэффициентов давления (соответственно и к небольшим величинам ветровых нагрузок).

Конструктивно модель стадиона включает основание, трибуны, стеновые экраны, навесы над трибунами (фото на рис. 3). Верхняя и нижняя поверхности половины модели навеса были дренированы по девяти сечениям в 62 точках (рис. 9).

Аэродинамическая труба ТАД-2 является трубой прямооточного типа с восьмиугольной в сечении рабочей частью размерами $4 \times 2,5$ м (ширина \times высота) и длиной 5,5 м. Рабочая часть имеет щелевые стенки со степенью проницаемости 18%. Максимальная скорость воздушного потока в рабочей части – до 42 м/с, мощность привода – 660 кВт.

Перед поворотным кругом с моделью стадиона в аэродинамической трубе ТАД-2 были смонтированы специальные турбулизаторы и вихреобразователи для моделирования естественного приземного турбулентного пограничного слоя воздуха, который в натуральных условиях городской застройки образуется на соседних со стадионом зданиях, сооружениях,

больших деревьях, локальных неровностях земной поверхности.

Характеристикой турбулентности, которая учитывает пульсации, является степень турбулентности

$$\varepsilon = \sqrt{v'^2} / \bar{V},$$

где $\sqrt{v'^2}$ – пульсационная составляющая скорости, средняя во времени; \bar{V} – средняя во времени скорость потока. При физическом моделировании аэродинамических процессов в турбулентных течениях необходимо, чтобы в подобных течениях степени турбулентности были одинаковыми:

$$\varepsilon_H = \varepsilon_M,$$

где ε_H и ε_M – степени турбулентности натурного и моделированного течения соответственно.

Степень турбулентности нестационарного пограничного слоя, в который была погружена модель стадиона, исследовалась с помощью разработанного в НАУ трехкомпонентного приемника воздушного мгновенного давления.

Зависимость степени турбулентности ε_M воздушного потока, набегающего на модель стадиона, от высоты над экраном при различных средних скоростях потока показана на рис. 10.

Зависимость коэффициента скоростного напора воздуха μ_v от расстояния до поверхности экрана показана на рис. 11. Продувки модели полной конфигурации стадиона в аэродинамической трубе ТАД-2 выполнялись при средней скорости воздушного потока 28 м/с, которая контролировалась перед моделью на высоте выше высоты модели стадиона на 30%. В натуральных условиях эта точка контроля скорости ветра находится на высоте 36 м от поверхности земли.

Измерение статического воздушного давления, преобразование его в электрический сигнал, обработка и отображение полученных результатов в темпе эксперимента автоматизировали с использованием высокопроизводительной информационно – вычислительной системы «Дренаж - НАУ», которая основана на индивидуальных датчиках мгновенного давления.

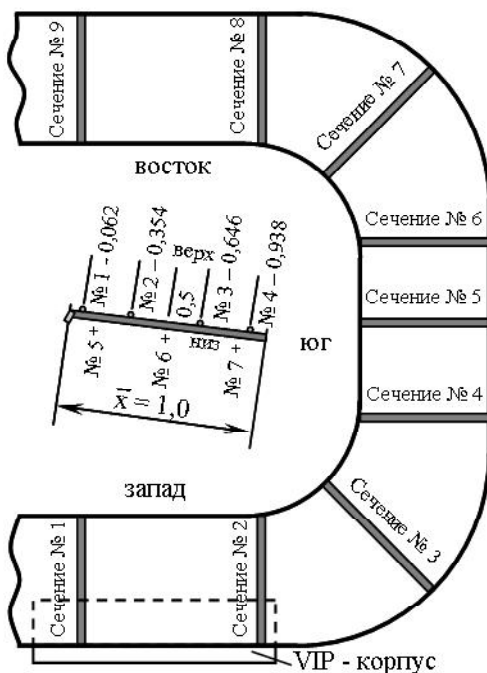


Рис. 9. Схема дренажа навеса модели отсека.

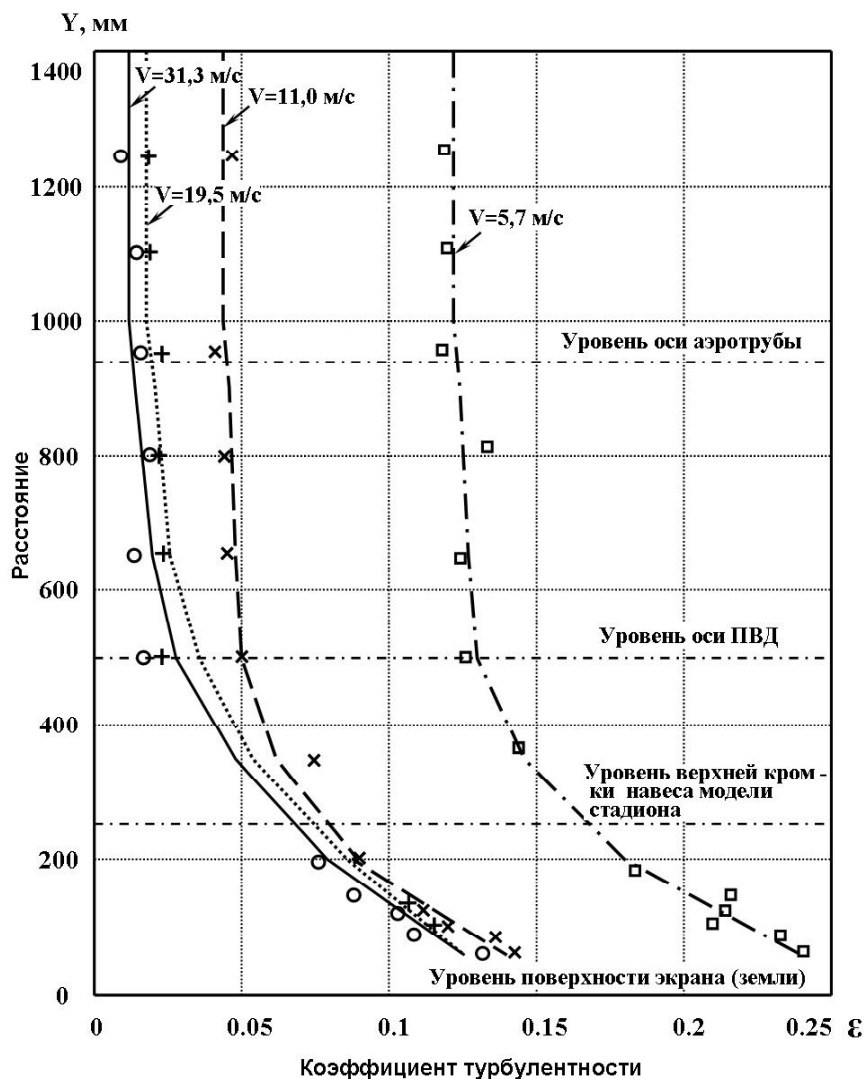


Рис. 10. Зависимость $\varepsilon = f(V, Y)$ в ТАД-2.

Анализ полученных результатов экспериментальных дренажных исследований модели навеса над стадионом позволяет отметить следующие особенности.

Коэффициенты давления \bar{P}_i практически во всех 62 дренажных точках при различных азимутальных углах направления воздушного потока в диапазоне $\beta = 0...360^\circ$ имеют отрицательные значения (имеет место действие отсоса на исследуемые поверхности). Причем, на верхней поверхности навеса над трибунами абсолютные величины воздушного давления преимущественно превышают величины воздушного давления на нижней поверхности навеса. Это указывает на то, что в ветреную погоду на покрытии всегда будет возникать аэродинами-

ческая подъемная сила, стремящаяся поднять навес над трибунами стадиона.

Любое из дренированных сечений оказывается более нагруженным ветровыми нагрузками при направлении ветра вдоль этого сечения (перпендикулярно кромкам навеса или под некоторым углом β к рассматриваемому сечению). Увеличение отсасывающих нагрузок на верхней поверхности внешнего края навеса при косо́й обдувке поясняется возникновением интенсивных вихрей вдоль внешней кромки.

При этом в точках типа № 4 (верх внешнего края) фиксируются большие нагрузки до $\bar{P}_i = -(1,7...1,9)$. А в точках типа №7 (низ внешнего края) наибольшие нагрузки достигают $\bar{P}_i = -(0,6...0,4)$ При изменении направления

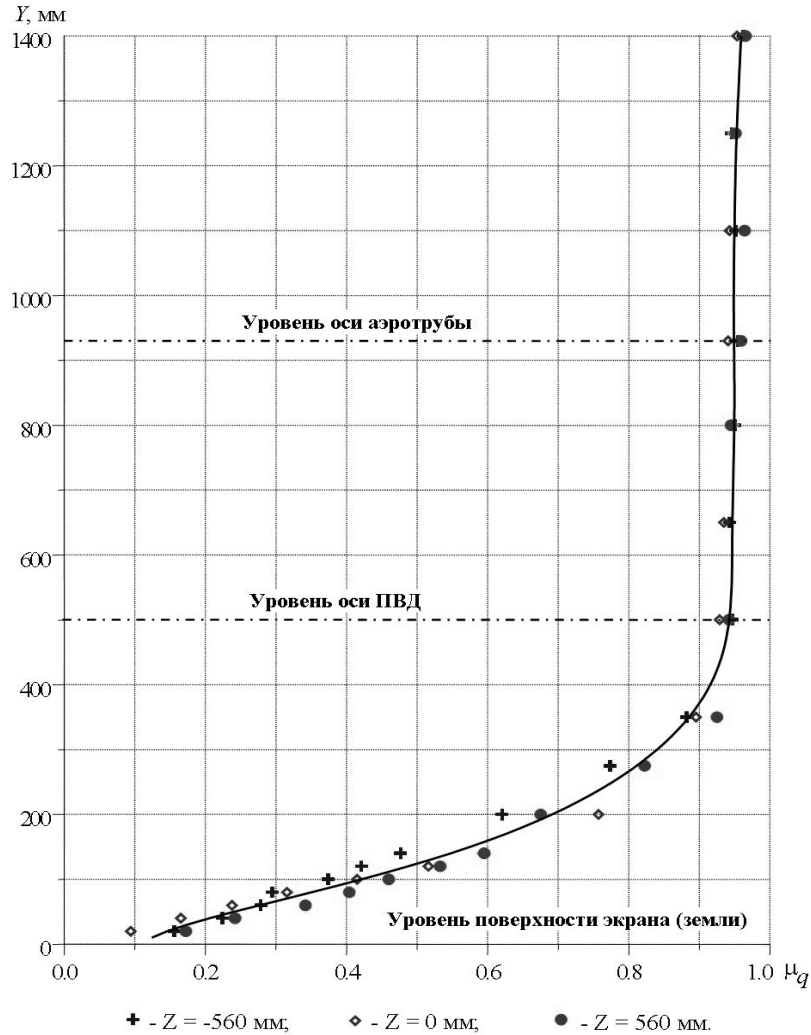


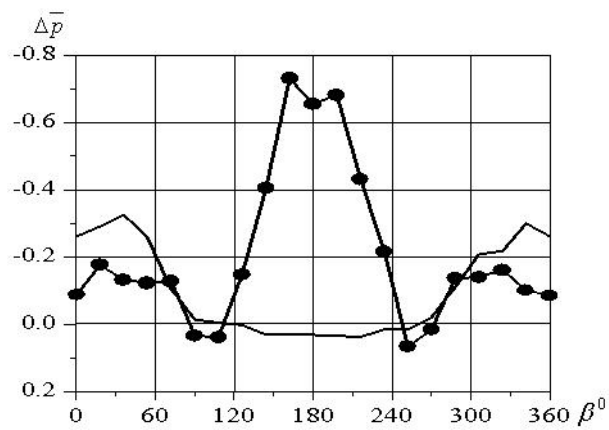
Рис. 11. Зависимость $\mu_q = f(Y)$ в ТАД-2.

ветра на 180° , когда точки № 1 (внутренний край) оказываются на переднем ребре атаки, в точках № 4 давление существенно снижается до $\bar{P}_i = -(0,6...1,0)$, а в точках № 1 давление возрастает до $\bar{P}_i = -(0,7...1,2)$.

На рис. 12 представлены эпюры зависимостей перепадов коэффициентов воздушного давления $\Delta\bar{P}$ в сечениях № 1, № 5, № 9 на концах хорд навеса в парных точках 1 – 5 и 4 – 7. Видно, что перепад коэффициента воздушного давления имеет минимальные значения $\Delta\bar{P} = -1,2$, т.е. суммарная ветровая нагрузка на навес направлена вверх. Наличие VIP – корпуса под западными трибунами (сечение №1) уменьшило ветровую нагрузку на навес на $\Delta\bar{P} = -0,45$

по сравнению с навесом над восточными трибунами (сечение № 9).

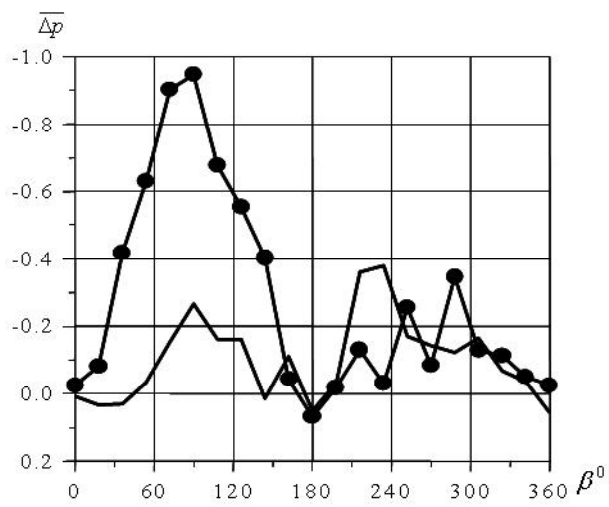
На рис.13 (схемы а, б, в показаны некоторые обобщенные результаты обработки результатов измерений коэффициентов давления \bar{P}_i по створам 1; 3; 5. Выбраны диапазоны разбросов величин \bar{P}_i при углах обдувки β , дающих максимальные их значения. Результаты интегральной обработки величин представлены на схеме г в виде расчетных коэффициентов C_e , аналогично тому, как это принято в строительных нормах (3). Как видно на схеме, знак аэродинамических коэффициентов C_e по длине вылета навеса свидетельствуют о наличии только отсасывающего действия ветра и абсолютные их величины в



а) сечение № 1

—●— $\Delta \bar{P} = P_{1-4} - P_{1-7}$

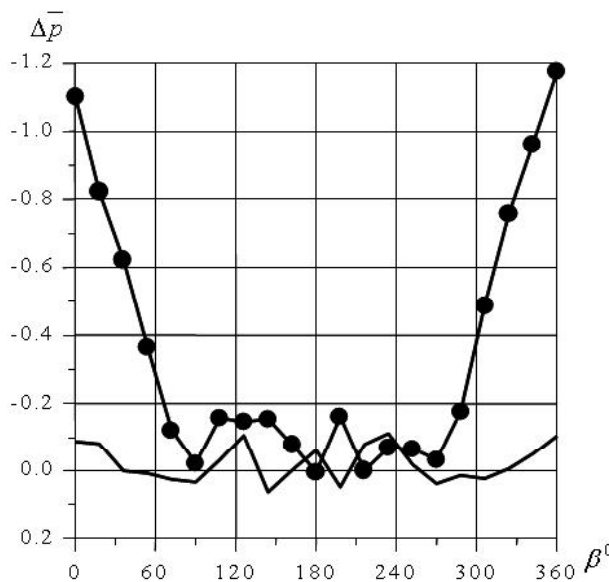
— $\Delta \bar{P} = P_{1-1} - P_{1-5}$



б) сечение № 5

—●— $\Delta \bar{P} = P_{5-4} - P_{5-7}$

— $\Delta \bar{P} = P_{5-1} - P_{5-5}$



в) сечение № 9

—●— $\Delta \bar{P} = P_{9-4} - P_{9-7}$

— $\Delta \bar{P} = P_{9-1} - P_{9-5}$

Рис. 12. Эпюры зависимостей $\Delta \bar{P} = f(\beta)$.

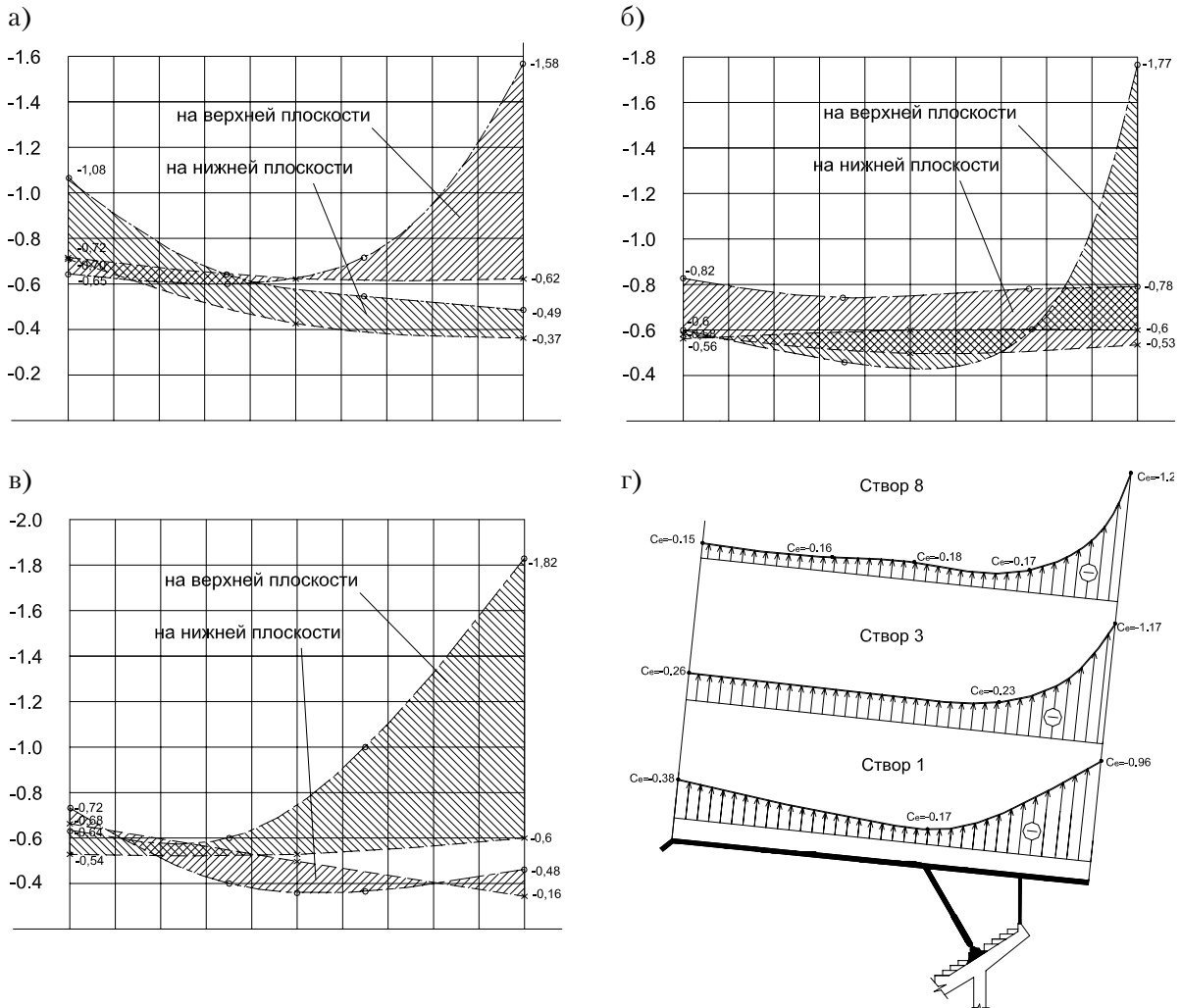


Рис.13. Обобщенные схема распределения давлений $\bar{P}_i = \bar{P}_{i,вер.} - \bar{P}_{i,ниж.}$ по створам: 1-а), 3-б), 8-в); г) схема распределения аэродинамических коэффициентов C_e .

среднем приближаются к $C_e = -0.2 \dots -0.3$, кроме ограниченных зон у краев. Здесь следует особое внимание обратить на зону у внутренней кромки навеса, где проектом предусматривается установка светопрозрачного пояса из поликарбонатных панелей, которые должны быть надежно закреплены к прогонам навеса с учетом увеличенной величины отсосов.

На первом этапе при эксперименте на отрезке навеса было выполнено варьирование формой поверхности покрытия навеса. Покрытие была придана слабо выпуклая форма (наподобие крыла самолета) для улучшения условий обтекания воздушным потоком. Оказалось, что при этом ветровые отсосы на внешней поверх-

ности не только не уменьшились, а наоборот стали большими на $\Delta \bar{P} = -0,15$.

Аэрационный режим над поверхностью игрового поля (на уровне высоты головы футболистов) можно считать удовлетворительным. В соответствии с исследованиями на модели стадиона величина коэффициента местной скорости вблизи поверхности игрового поля находится в пределах $K_v = 0,04 \dots 0,17$. Таким образом, над поверхностью игрового поля образуются местные течения воздуха со скоростью, составляющей 4...17% от скорости ветра перед стадионом на высоте ~ 36 м от поверхности земли. При этом, ввиду наличия прямых, обратных и скошенных течений над поверхностью

игрового поля в ветреную погоду, футболисты будут ощущать различное по направлению и слабое по скорости комфортное движение воздуха.

Судя по наличию отрицательных величин давления на нижних поверхностях навеса, в ветреную погоду над зрительскими трибунами также будет реализовываться комфортное движение воздуха. При этом через входные проемы, расположенные по всему периметру трибун, следует ожидать поступление свежего воздуха к зрителям.

В результате научного анализа величин погрешностей автоматизированной подсистемы «Дренаж – НАУ» показано, что инструментальная относительная погрешность измерения коэффициентов воздушного давления не превышает 1%. Однако, полная погрешность измерения определилась величиной случайной составляющей, равной 27 % от максимального зарегистрированного коэффициента давления. Это поясняется тем, что плохообтекаемая конфигурация стадиона подвергается воздействию приземного нестационарного набегающего потока, который был образован в аэродинамической трубе ТАД-2 специальной турбулизирующей системой.

Выводы

В аэродинамических трубах УТАД-2 и ТАД-2 Национального авиационного университета выполнены дренажные и визуальные исследования моделей стадиона ФК «Днепр» с навесом над зрительскими трибунами.

Показано, что минимальные величины коэффициентов воздушного давления на поверхностях навеса стадиона регистрируются при отсутствии протока воздуха между верхним краем трибун и навесом.

Сравнение результатов дренажных исследований отсека центральной части стадиона и результатов дренажных исследований модели полной конфигурации стадиона с навесами над трибунами в идентичных сечениях навеса показывает, что результаты исследований отсека стадиона можно отнести к качественным оценкам. Достоверными количественными результатами следует считать результаты дренажных исследований большой модели М 1:120 полной

конфигурации стадиона, проведенных в большой аэродинамической трубе ТАД-2 НАУ в широком диапазоне углов направления ветра $\beta = 0...360^\circ$.

На верхней и нижней поверхностях навеса практически во всем диапазоне направлений ветра наблюдаются отрицательные величины коэффициентов давления (отсосы). Отсосы на верхней поверхности навеса как правило превышают отсосы под покрытием, поэтому интегральные величины воздействий ветрового потока на навес в целом направлены, в основном, вверх.

Показано, что над поверхностью игрового поля стадиона на уровне головы спортсменов соблюдается приемлемый аэрационный режим. Над поверхностью игрового поля образуются местные течения воздуха со скоростью, составляющей 4...17 % от скорости ветра над стадионом на высоте 36 м от поверхности земли.

Ввиду того, что аэродинамическая конфигурация стадиона относится к плохообтекаемым объектам, и что стадион находится в пределах города с существующими по соседству постройками, зарегистрированы значительные пульсирующие колебания коэффициентов давления. Нестационарность отрывных течений воздушного потока с доверительной вероятностью 90 % оценивается величиной 27 % от измеряемой величины коэффициента воздушного давления. Названная величина значительно превосходит инструментальную погрешность системы «Дренаж-М», которая не превышает 1%.

Результаты выполненных аэродинамических исследований были приняты во внимание при назначении комбинаций расчетных ветровых нагрузок на покрытие стадиона в г. Днепропетровске.

Литература

1. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1992. – 672с.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1974. – 711с.
3. ДБН В.1.2-2:2006 «Нагрузки и воздействия», Нормы проектирования.
4. Comprehensive aerodynamic and study of Independence of Ukraine monument / I.M.Lebedich, M.P. Kondra, R.M. Pavlovskiy, a.o. // K.: Proc. Of the NAU. – 2003. – № 2 (17). – P. 100-104.

5. И.Н.Лебедич,Е.П.Ударцев.Аэродинамические испытания круглых в плане зданий с вогнутым сферическим покрытием. //Строительная механика и расчет сооружений. №2.1980. М.Стройиздат.-С.63-65
6. V.P.Mugalev, Simulation of surface-layer velocity fields and their influence on wake, Wind Engineering into 21 st Century, Larsen, Larose & Livesey (eds), 1999 Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5809 069 0.
7. Zhifu Gu & Yan Li, Minghui Cheng, Wind loads on glass cladding of a tower building, Wind Engineering into 21 st Century, Larsen, Larose & Livesey (eds), 1999 Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5809 069 0.
8. Ищенко С.А., Жданов А.И., Давидов А.Р. Экспериментальные исследования ветровых нагрузок на плохо обтекаемые высотные сооружения // Аэрогидродинамика: проблемы и перспективы. Сб. ст. ХАИ. – Х.: ХАИ, 2004. – С. 33 – 42.
9. Павловский Р.Н., Ищенко С.О., Жданов О.И., Дегтярьов В.В. Визначення умов виникнення аеропружних коливань погано обтічних конструкцій у трубному експерименті // Вісник НАУ. – 2006. - №1 (27). – С. 64-69.

Лебедич Игорь Николаевич – к.т.н., академик Украинской академии архитектуры, академик Академии строительства Украины, лауреат государственной премии в области архитектуры, заведующий отделом новых типов конструкций ОАО «УкрНДІПроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського». Научные интересы – каркасы многоэтажных зданий, большепролетные сооружения, легкие металлоконструкции.

Павловский Роман Николаевич – к.т.н., старший научный сотрудник кафедры аэродинамики и летной эксплуатации Национального авиационного университета. Научные интересы – устойчивость и управляемость летательных аппаратов, аэродинамика зданий и сооружений.

Жданов Александр Иванович – к.т.н., старший научный сотрудник кафедры аэродинамики и летной эксплуатации Национального авиационного университета. Научные интересы – устойчивость и управляемость летательных аппаратов, аэродинамика зданий и сооружений.

Лебедіч Ігор Миколайович – к.т.н., академік Української академії архітектури, академік Академії будівництва України, лауреат державної премії в галузі архітектури, завідувач відділом нових типів конструкцій ВАТ «УкрНДІПроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського». Наукові інтереси - каркаси багатоповерхових будівель, великопрольотні споруди, легкі металоконструкції.

Павловський Роман Миколайович – к.т.н., старший науковий співробітник кафедри аеродинаміки і льотної експлуатації Національного авіаційного університету. Наукові інтереси - стійкість і керованість літальних апаратів, аеродинаміка будівель і споруд.

Жданов Олександр Іванович – к.т.н., старший науковий співробітник кафедри аеродинаміки і льотної експлуатації Національного авіаційного університету. Наукові інтереси - стійкість і керованість літальних апаратів, аеродинаміка будівель і споруд.

Lebedich Igor Mykolaiovych – Ph.D. (Eng), an academician of the Ukrainian Academy of Architecture, an academician of the Academy of Civil Engineering of Ukraine, a prize-winner of the State Prize in the field of architecture, Head of the Department of New Types of Structures of the OJSC “V. Shimanovsky UkrRDSteelconstruction”. Research interests: structures of multistoried buildings, large-span structures, light metal structures.

Pavlovsky Roman Mykolaiovych – Ph.D (Eng), a senior scientist of the Department of Aerodynamics and Flying Operation of the National Aviation University. Research interests: stability and dirigibility of aircrafts, aerodynamics of buildings and structures.

Zhdanov Olexandr Ivanovych – Ph.D (Eng), a senior scientist of the Department of Aerodynamics and Flying Operation of the National Aviation University. Research interests: stability and dirigibility of aircrafts, aerodynamics of buildings and structures.