

УДК 624.042.41

д.т.н., профессор С.Г. Кузнецов, О.С. Мишура,  
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК НА КОНСТРУКЦИИ ПОКРЫТИЙ НАД ТРИБУНАМИ СТАДИОНОВ

*В статье приводится анализ аэродинамических коэффициентов определенных по отечественным и зарубежным нормам проектирования. Рассмотрены схемы ветровых нагрузок и аэродинамических коэффициентов представленные в различных стандартах, как упрощенный случай аэродинамического обтекания большепролетных покрытий над трибунами стадионов.*

**Ключевые слова:** *большепролетное покрытие, покрытие над трибунами стадиона, ветровая нагрузка, аэродинамический коэффициент.*

**Введение.** Олимпийские, футбольные и другие международные соревнования являются не только крупными событиями в жизни всего мира, но и смотрами достижений строительной науки и техники страны – организатора. Такие события неотъемлемо сопровождаются созданием сооружений, в частности спортивных, выдающихся как в архитектурном, так и в конструктивном отношении, сооружений, которые символизируют достижения технического прогресса.

Проведение ЕВРО-2012 повлекло необходимость возведения новых архитектурно и конструктивно сложных спортивных сооружений и в Украине.

Все стадионы Украины ЕВРО-2012 имеют индивидуальные проекты, отличающиеся используемыми в них конструктивными формами несущих конструкций и конструкций покрытия. Принимая во внимание масштабы подобных сооружений и большой вылет консольного свеса козырька над трибунами, большепролетные покрытия над зрительскими трибунами можно отнести к разряду уникальных объектов.

Создание таких, архитектурно и конструктивно неповторимых сооружений, сложных в проектировании и возведении включает в себя серьезную научно-техническую проблему, связанную с разработкой теории расчета большепролетных пространственных конструкций, а также комплексным исследованием процессов их формообразования, конструирования и эксплуатации.

Не маловажную роль здесь играет и ветровая нагрузка, которая является одной из основных нагрузок для такого рода сооружений. Правильное

определение аэродинамических факторов воздействий на покрытия стадионов во многом определяет принимаемые конструктивные решения и их экономичность.

Таким образом учет влияния конструктивной формы большепролетных покрытий на параметры ветровой нагрузки является актуальным вопросом требующим всестороннего рассмотрения.

**Основной материал.** Влияние формы сооружения на значение ветровой нагрузки учитывается аэродинамическими коэффициентами.

Следует отличать аэродинамические коэффициенты используемые авиаконструкторами от коэффициентов, используемых в строительстве. Аэродинамика изначально изучала воздушные потоки вокруг хорошо обтекаемых тел, таких как крыло, применяемое, в основном, в области воздухоплавания. Такие потоки значительно отличаются от тех, которые существуют вокруг конструкций, изучаемых в строительной аэродинамике, далеко не являющихся обтекаемыми. Существенное различие лежит в размере разделенной области потока (следа) вокруг этих конструкций. Для большинства зданий именно след является доминирующей характеристикой потока [1].

Физический смысл аэродинамического коэффициента в строительной аэродинамике заключается в следующем. Каждое здание с точки зрения аэродинамики является плохообтекаемым препятствием. На рис. 1а изображена картина обтекания здания потоком воздуха, где ясно видны зоны вихреобразования, зона турбулентности, а на рис. 1б — распределение ветрового давления по наружным поверхностям этого здания. В зависимости от скорости ветра, плотности воздуха, формы здания и шероховатости его наружных стен, наличия соседних сооружений, холмов и т.д. картина распределения давления может быть иной [2]. При определении проекций ветровой нагрузки на различные направления в нормах проектирования приводятся различные величины аэродинамического коэффициента (внутреннего давления и внешнего давления).

В данной работе рассматривались следующие стандарты с целью анализа приведенных в них аэродинамических коэффициентов для схем нагружения применимых к покрытию над трибунами стадиона:

- 1) ДБН В.1.2-2:2006. Нагрузки и воздействия;
- 2) ENV 1991-1-4:2004. Еврокод 1. Часть 4 «Ветровые воздействия» - опубликован в 2004г.;
- 3) GBJ 9-87. Национальный стандарт народной республики Китай» - опубликован в 1994г.;
- 4) AS 1170.2-1989. Австралийский стандарт. Часть 2: Ветровая нагрузка;
- 5) ASCE 7-05. Минимальные расчетные нагрузки на здания и сооружения.

Американская ассоциация промышленного строительства - опубликован в 2005г.;

- 6) NRC-CNRC. Национальный строительный код Канады - опубликован в 1995 [7];
- 7) Recommendations for Loads on Buildings (wind loads) Japan [5];
- 8) Code of practice on wind effects Hong Kong 1993 [10].

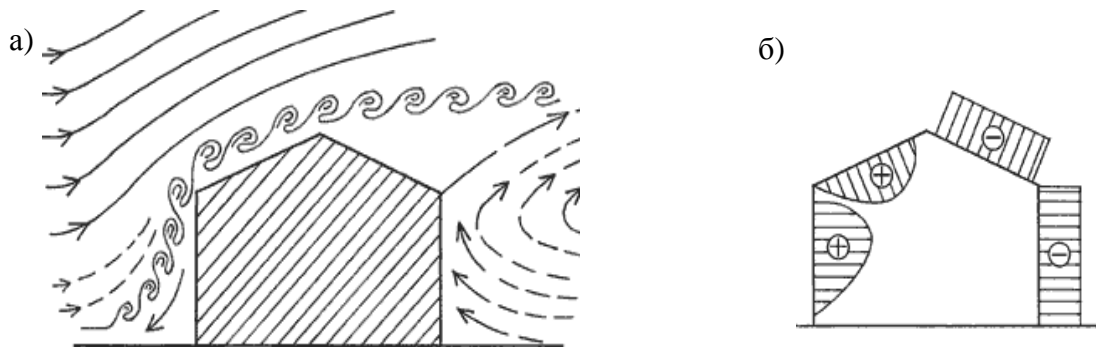


Рис.1. а) обтекание здания потоком воздуха; б) распределение давления от ветрового потока.

Как в ДБН В.1.2-2:2006, так и в вышеперечисленных зарубежных стандартах схемы нагружения для определения ветровых нагрузок непосредственно на большепролетные конструкции покрытий над трибунами стадионов не приведено. Наиболее подходящей схемой ветровых нагрузок и аэродинамических коэффициентов для таких покрытий является схема в виде навеса (Canopy roofs) [3, 7] или «свободной» крыши (Free Roofs) [4, 6, 8]. Которые представляют собой крыши в открытых зданиях без стен под своей поверхностью. Открытыми считаются здания открытые с каждой стороны по крайней мере на 80 % [4].

Аэродинамический коэффициент для навесов или «свободных» крыш приведен в пяти из рассмотренных стандартов: австралийском и американском кодах, ДБНе, Еврокоде, а так же в нормах Китая. В этих случаях приведены чистые коэффициенты разности давлений.

На рисунке 2 приведены схемы определения коэффициентов давления представленные в рассмотренных стандартах.

В некоторых нормах ([7], [3], [6] и др.) аэродинамический коэффициент представляет собой преобразованную усредненную скорость ветра распределенную по поверхности покрытия в максимальную суммарную скорость или суммарное давление. Таким образом рассмотренные коэффициенты в конечном счете - уточненное (сгруппированное) давление порыва ветра, и, поэтому, непосредственно сопоставимы друг с другом. Однако метод учета области влияния давления значительно варьируется между документами. Например, австралийскими нормами [6] предусмотрен "районно"

понижающий коэффициент» -  $K_a$ , основанный на притоке области структурной системы, в приведенном сравнении, эта область будет рассматриваться как общая площадь плана крыши. Еврокод дает одинаковые коэффициенты давления для основных структур и облицовок и применяет их по всей крыше – что очевидно упрощает расчет нагрузки. AS 1170.2 указывает давление на зоны в зависимости от расстояния до наветренного края конструкции козырька (см. рис. 2д). Во всех кодах направление давления вверх (от поверхности) принято за отрицательное, вниз (на поверхность) - положительное. Промежуточные значения коэффициентов следует определять линейной интерполяцией. Давление на рассматриваемый вид покрытия в Еврокоде и ASCE 7-05 градуируется по зонам (рис.2б, д). В Еврокоде, AS 1170.2-1989 [6] и в ASCE 7-05 [4] величина аэродинамического коэффициента различается также в зависимости от степени блокировки пространства под навесом.

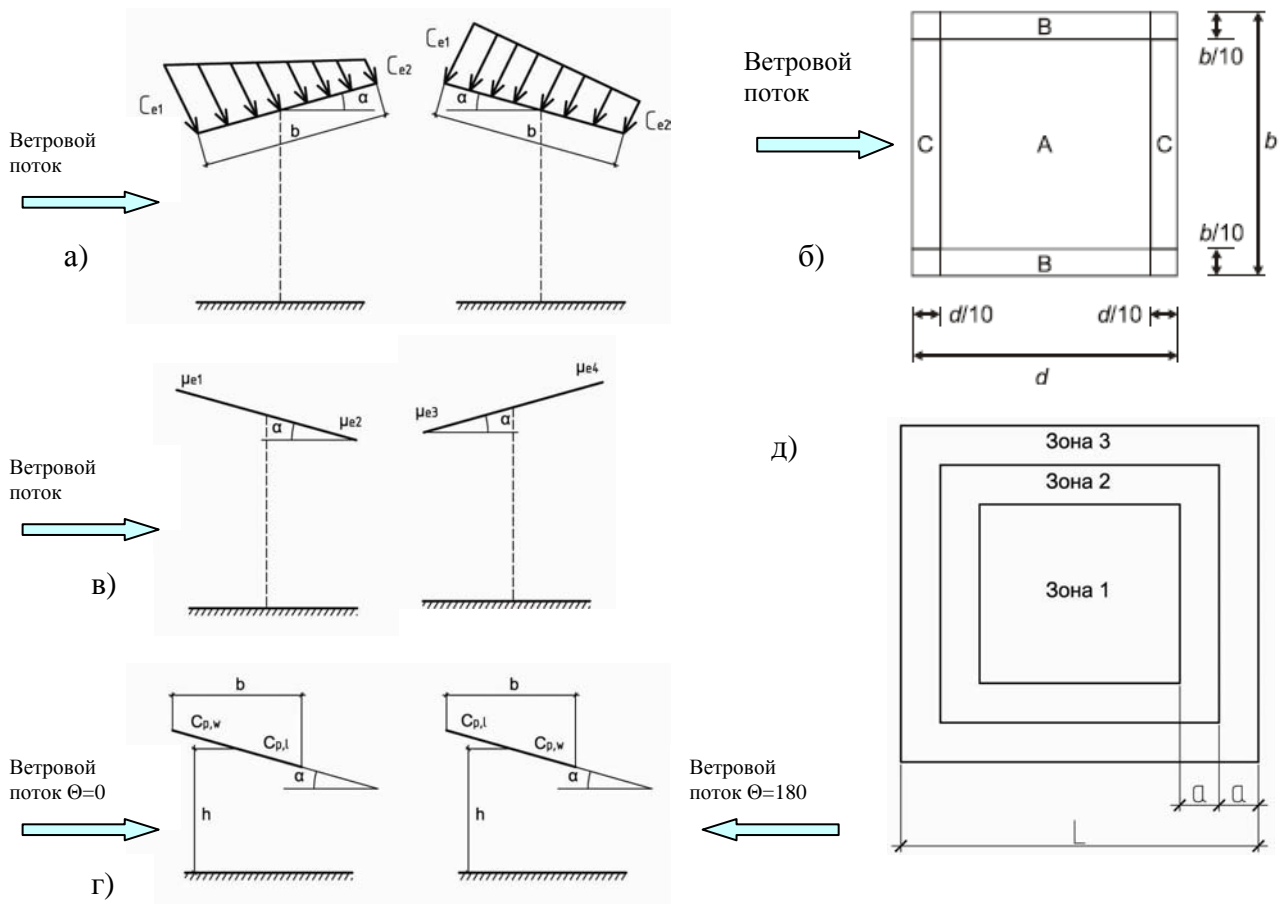


Рис.2 Схема распределения ветрового давления и аэродинамических коэффициентов по поверхности навеса (открытой крыши) а) ДБН В.1.2-2:2006; б) ENV 1991-1-4:2004 в) GBJ 9-87 г) AS 1170.2-1989 д) ASCE 7-05

Степень блокировки пространства под навесом (крышей) согласно ENV-1991-2-4 показана на рисунке 3. Значение степени блокировки здесь определяется коэффициентом  $\phi$ , который представляет собой отношение

фактической площади заполнения к площади поперечного сечения пространства под навесом, при этом в обе области нормальны по отношению к направлению ветра.  $\phi = 0$  - представляет пустое подпространство (empty canopy),  $\phi = 1$  - пространство полностью заблокированное.

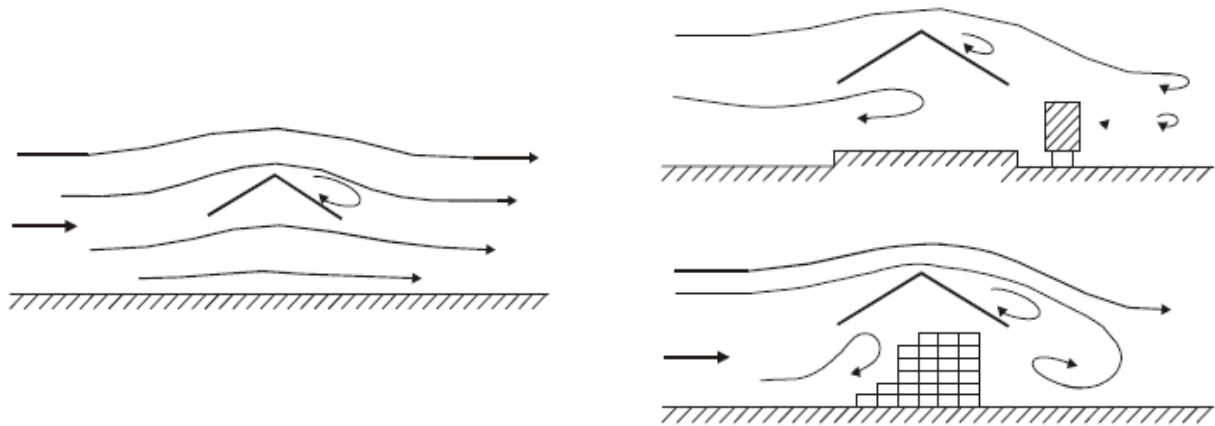


Рис.3. обтекание конструкций типа козырек (свободная крыша) а) при  $\phi = 0$ ; б) при  $\phi = 1$ .

В AS 1170.2-1989 свободным пространством «empty under» считается пространство заполненное менее чем на 50%, заблокированным – при заполнении внутреннего пространства более чем на 75%

В американских нормах - ASCE 7-05 открытый ветровой поток «clear wind flow» обозначает относительно беспрепятственное прохождение ветрового потока с блокировкой пространства менее чем 50%. Затрудненный ветровой поток «obstructed wind flow» обозначает наличие объектов ниже крыши препятствующих прохождению потока ветра (при блокировке >50%).

Сравнение приведенных различными нормами аэродинамических коэффициентов для односкатных отдельно стоящих конструкций покрытий проведем на примере большепролетного покрытия, расчетную схему которого представим в виде наклонной жестко закрепленной консольной балки. Наклон балки к горизонтальной поверхности принимаем равным  $30^\circ$ , вылет балки – 20 м.

Определим значения аэродинамических коэффициентов в соответствии с данными рассматриваемых нормативных документов (рис.4.), при этом допустим что блокировка внутреннего пространства под покрытием не превышает 50%.

По полученным схемам (рис.4) определим M, N и Q в заделке балки, результаты расчетов представим в виде гистограмм (рис.5).

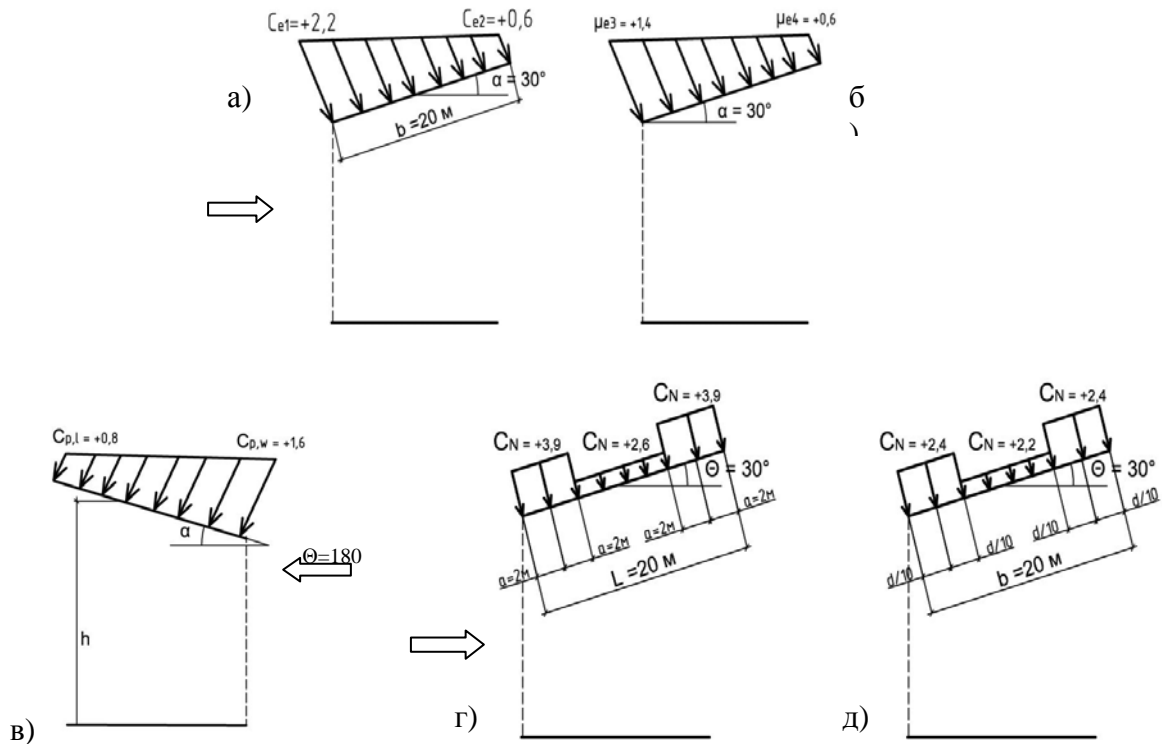


Рис.4. Схемы ветровых нагрузок и значения аэродинамических коэффициентов а) ДБН В.1.2-2:2006; б) GBJ 9-87 в) AS 1170.2-1989 г) ASCE 7-05 д) ENV 1991-1-4:2004.

По графикам видно что различия между украинскими, австралийскими и китайскими нормами не значительно (не превышает), тогда как по Еврокоду и американскому стандарту значение полученных величин превышает остальные

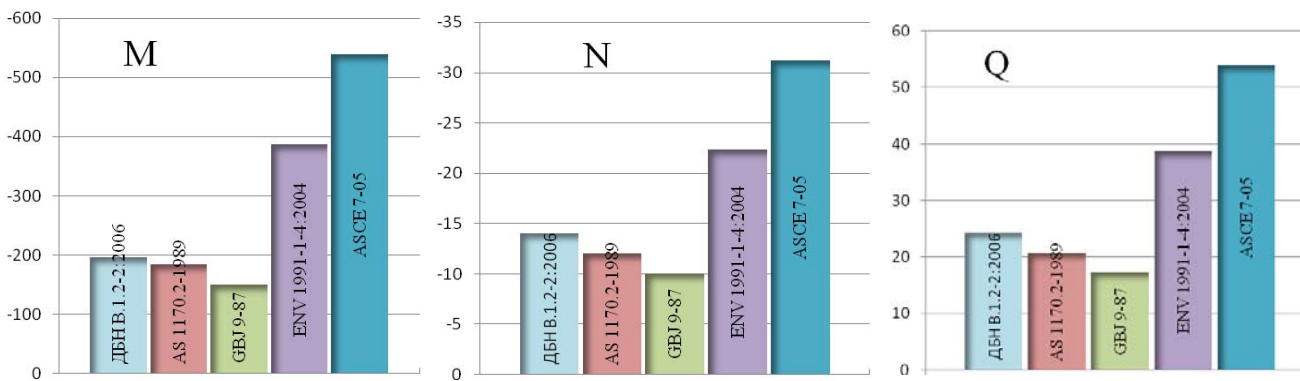


Рис.5. Гистограммы сравнения усилий в заделке балки полученных при расчете по различным нормативным документам

В стандартах которые не предоставляют аэродинамического коэффициента для конструкций подобных покрытию над трибунами стадиона, как и в рассмотренных выше нормах, рекомендуется определять влияние ветровой нагрузки на конструкции, не рассмотренные стандартом а также представляющие собой уникальные сооружения, проведением аэродинамических исследований модели конструкции.

**Вывод.** Рассмотренные выше схемы в виде козырька («свободной» крыши), представленные в нормах определения ветровой нагрузки различных стран, можно отнести к упрощенным случаям аэродинамического обтекания консольных большепролетных покрытий. Распределение значений ветровых нагрузок при рассмотрении простых геометрических форм, на сооружения сложной конструкции может давать более или менее приемлемый результат, однако является довольно таки сомнительным, неточным. Для большепролетных конструкций покрытий над трибунами стадионов пока что отсутствуют четко сформулированная методика расчета и опыт проектирования. Что еще раз указывает на то, что степень ветровых воздействий на подобные сооружения необходимо определять на основе аэродинамических испытаний.

### Литература

1. Е.В. Горохов, С.Г. Кузнецов. Экспериментальные методы определения ветровых нагрузок на здания и сооружения. – Донецк: Норд-Пресс, 2009 – 168 с.
2. С.Ф. Пичугин, А.В. Махинько. Ветровая нагрузка на строительные конструкции. - Полтава, 2005. – 342 с.
3. ДБН В.1.2-2:2006 Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования.- Киев: 2006. - 78 с.
4. ANSI/ASCE 7 – 05. Minimum design loads for buildings and other structures. - A.S.C.E., 2006. – 388p.
5. AIJ recommendations for loads on buildings. English translation. Tokyo.: Architectural Institute of Japan, 1996.
6. AS 1170.2-1989 General requirements and design actions. - Part 2: Wind actions. - Standards Australia, 1999 (with commentary).
7. ENV-1991-2-4 Eurocode 1: basis of design and actions on structures. – Part 1-4: Wind actions. - C.E.N., 2004. – 147p.
8. GBJ 9-87 National standard of the people’s republic of china. Load code for the design of building structures. English translation. – Beijing: 1994p.

9. NRC-CNRC National Building code of Canada. - Canadian Commission on building and fire codes, 1995.

10. Code of practice on wind effects. - Hong Kong: 1993.

### **Анотація**

У статті наводиться аналіз аеродинамічних коефіцієнтів визначених за вітчизняними та зарубіжними нормами проектування. Розглянуті схеми вітрових навантажень і аеродинамічних коефіцієнтів наведені у різних стандартах, як спрощений випадок аеродинамічного обтікання великопрольотних покриттів над трибунами стадіонів.

**Ключові слова:** великопрольотне покриття, покриття над трибунами стадіону, вітрове навантаження, аеродинамічний коефіцієнт

### **Abstract**

In article the analysis of aerodynamic coefficients defined by Ukrainian and foreign building norms is cited. Wind loadings schemes and aerodynamic coefficients that presented in various standards, as the simplified case of an aerodynamic flow of wide-span roof covering over tribunes of stadiums are considered.

**Keywords:** wide-span roof covering, roof covering over stadium tribunes, a wind load, aerodynamic coefficient.