УДК 721.01: 624.012.3 : 681.3.06

В.П.Максименко, к.т.н., НИИСП;
Д.А. Городецкий, к.т.н., А.А. Рассказов, к.т.н.;
ТОВ "ЛИРА САПР", Киев

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ НА ГРАНИЧНЫЕ ВЕТРОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ОБДУВА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ДБН В.2.2-24:2009

АННОТАЦИЯ

Реализованные в ПК "МОНОМАХ САПР" численные методы строительной механики позволяют выполнять расчет и проектирование высотных сооружений на сейсмические и граничные ветровые воздействия по результатах аэродинамического обдува.

Ключевые слова: высотное здание, каркас, ветровые , сейсмические воздействия, деформации.

В действующем ДБН-В.2.2.-24:2009 "Проектування висотних житлових і громадських будинків" изложены основные требования к расчету и проектированию высотных жилых и общественных зданий: высотой более 73,5м:

– при высоте зданий более 100м проектирование выполняется как объекта экспериментального строительства с научно-техническим сопровождением его строительства в соответствии с ДБН-В.1.2-5:2007 [5];

– на стадии "П" выполняется проверочный расчет здания как конструктивной пространственной системы **"грунтовое основание-фундамент-строение"** (см.п.2.6 ДБН), в составе проектной документации для экспертизы подается сравнительная таблица расчетных параметров с допустимым расхождением по ним не более 10%;

– здания высотой более 73.5м разрешается строить на площадках с сейсмичностью до 6 баллов за шкалой MSK-64, выше как объектов экспериментального строительства с учетом коэффициента динамичности β_i по новой шкале (см. Рис.1 на цветной вкладке);

– определяется зона влияния высотного сооружения на существующую застройку расчетом грунтового основания на стадии "П" с разработкой комплекса мероприятий по обеспечению целостности окружающей жилой застройки, а также инженерной и транспортной инфраструктуры. В данном ДБН установлена **максимально допустимая величина дополнительных осадок грунтового основания и перекосов** существующих объектов в зоне влияния нового строительства, в том числе: для зданий с ЖБ каркасом — до 4см с относительным перекосом не более 0,002; для зданий с несущими стенами с армированной кладкой или с ЖБ поясами до 3см и относительным перекосом не более 0,0015; для зданий с несущими стенами из каменной кладки и зданий из крупных панелей до 2см и 1см соответственно с относительным перекосом не более 0,0010;

– расчет на граничные ветровые воздействия выполняется с учетом пульсационной динамической составляющей. При несимметричной схеме сооружения и высотности более 200м **расчет по результатах обдува в аэродинамической трубе**;

– выполняется расчет на "прогрессирующее обрушение", такое воздействие относится к аварийной ситуации, когда локальное разрушение или повреждение отдельных элементов несущих конструкций в пределах одного этажа или части перекрытия (ограниченной площадью до 80м^2 или диаметром до 10м), не ведет к полному разрушению всей конструкции и здания в целом. При этом в отдельных элементах конструкций допускается развитие трещин и пластических деформаций в арматуре. Расчет прочности и устойчивости каркаса сооружения проводится на **аварийное сочетание нагружений**. При этом в соответствии с п.Е.2 по [1] — предельные перемещения конструкций не регламентируются, необходимо **оценить общую устойчивость здания** в целом. Аварийные воздействия могут быть вызваны деятельностью человека при пожаре, взрыве газа, терактов, наездов транспорта и др. или природными явлениями, как: землетрясения, ураганы, оползни, неравномерные деформации оснований.

Устойчивость к прогрессирующему обрушению проверяется нелинейным расчетом на особое (аварийное) сочетание нормативных нагрузок и воздействий, включающее постоянные и длительные нагрузки, а также воздействие гипотетических локальных разрушений несущих конструкций. Рекомендуется использовать программные комплексы (ПК), в которых реализованы процедуры расчета конструкций с учетом **физической, геометрической нелинейности, процессов монтажа и модели-**

рования жизненного цикла (Например, такие как ЛИРА-САПР, МОНОМАХ-САПР и др).

Рассмотрим методику расчета каркаса по результатах обдува здания в аэродинамической трубе на реальном примере обдува модели здания фирмой BMT Fluid Mechanics, Англия [6].

Дублирующий расчет конструкций высотного административно-офисного комплекса с подземным 8-и уровневым паркингом ул. Шолуденко в г. Киеве (общая высота Н=+210м, Нподвала= – 28,3м, фундаментная плита переменной толщиной 1.5м, 2,0м, 2,5м, 3,5м) выполнялся в ПК "ЛИРА".

Пространственная схема конструкций 34-х и 47-и этажного (с 6-ти этажным подиумом) каркасно-монолитного висотного здания виполнена в ПС "КОМПОНОВКА" ПК "МОНОМАХ САПР" (см. Рис.2). Созданная в ПС "КОМПОНОВКА" расчетная схема МКЭ здания проимпортирована в ПК "ЛИРА САПР" (см. Рис.4 на цветной вкладке). Для получения достоверных данных о напряженно-деформированном состоянии (НДС) высотного сооружения, расчет выполняется с учетом постадийности монтажа.

Первый вариант расчета на статические и ветровые воздействия выполнялся по стандартной методике ДБН В.1.2-2:2006 [2], при определении граничного значения ветрового воздействия в виде (для сооружений высотой до 200м):

$$W_m=\gamma_{jm}W_0C, \qquad (1)$$

где $C = C_{aer} \cdot C_h \cdot C_{alt} \cdot C_{rel} \cdot C_{dir} \cdot C_d$,

γ_{jm} где — коэффициент надежности за граничным значением ветрового воздействия (по табл. 9.1., ДБН В1.2-2:2006);

W_0 – характеристическое значение ветрового давления;

C_{aer} — аэродинамический коэффициент (по Додатку I ДБН);

C_{alt} – коэффициент географической высоты = 1 (при Н < 0,5 км);

C_{rel} — коэффициент рельефа,

C_d — коэффициент динамичности для учета пульсационной составляющей, по умолчанию Cd=1.2 при Н>73,5 м;

C_h – коэффициент высоты сооружения в ПС "Компоновка САПР" принимается автоматически с учетом изменения высоты по этажам, типа местности в соответствии с требованиями ДБН В.2.2-24 в виде:

$$c_h(z) = [k_h \cdot c_e(z)]^2 \cdot [1+7/c_e/(z)],\ c_e(z)=\ln(z_{min}/z_0). \qquad (2)$$

Приведенная суммарная составляющая ветрового давления W_i в уровне перекрытия *i*-того этажа будет:

$$Wi = W_{mi} + W_{pi}, \qquad (3)$$

где W_{mi} — средняя составляющая нормативного давления с учетом суммы напора и отсоса

C_{aer} =1.4 (0.8+0.6) для i-того этажа будет:

$$W_{mi} = 0{,}5\ C_{aer}\ W_0\ k\ B\ (z_{i+1} + z_{i-1}), \qquad (4)$$

где k – коэффициент типа местности принимаемый по таблице ДБН [1, 2];

B — усредненная ширина обдуваемой поверхности по Х, У (или по направлению под произвольным углом) определяется автоматически для каждого этажа;

z_i — ордината *i*-того перекрытия от уровня земли (в ПК "Компоновка" — отметка планировки);

W_{pi} — динамическая пульсационная составляющая для i-того уровня перекрытия при частоте колебаний менее предельной частоты собственных колебаний будет:

$$W_{pi} = 1.4\ W_{mi}\ \zeta_i\ \nu\ C_d\ z_i/H, \qquad (5)$$

ζ_i — коэффициент пульсаций принимается по таблице ДБН;

H — высота сооружения.

Как видим с эпюры распределения давления на каркас здания высотой до 200м (расчет по ЭСПРИ см. Рис.1.б на цветной вкладке) в методике ДБН В.1.2-2006 [2] не учитывается реальная картина неравномерного изменения ветрового давления и скоростей ветра при изменении геометрии сооружения, которая возникает при несимметричной схеме по результатах обдува (см. Рис.3 на цветной вкладке).

Результаты расчета каркаса на ветровые воздействия по принятой методике ДБН [2] (Вариант-1) представлены (см. на Рис.5 на цветной вкладке).

По результатам проведения дренажного эксперимента с моделью здания получаем векторы полных аэродинамических сил Fx, Fy и моментов Mz (см. Рис. 3 на цветной вкладке). После обработки результатов аэродинамического эксперимента на

модели объекта определяются реальные расчетные граничные и эксплуатационные значения сил и моментов по высоте здания по [6].

Для автоматизации задания неравномерного ветрового давления на каркас по результатах обдува в ПС "Компоновка САПР" разработана технология и **специальный модуль**, который позволяет задать **произвольную эпюру ветрового давления или скорости ветра по высоте здания**, полученных непосредственно из результатов аэродинамического эксперимента (см. Рис.4 на цветной вкладке). Полученное произвольное ветровое давление по высоте автоматически пересчитывается в силы и моменты в уровне перекрытия каждого этажа, что существенно упрощает процесс их задания.

Результаты расчета каркаса на ветровые воздействия по методике ДБН В.2.2-24:2009 (Вариант-2) и результатов аэродинамического обдува [6] представлены на (см. Рис.6. на цветной вкладке).

Максимальные горизонтальные перемещения верха сооружения (отм. 210м) от воздействия Ветра-2 по оси У составили: РСН-6 = $1.1\sqrt{(0{,}2626^2 + 0{,}07228^2)}$=0,2996 м при коэффициенте надежности по ответственности =1,1.

Относительное максимальное горизонтальное перемещение верха сооружения при граничном ветровом напоре по результатах аэродинамического обдува будет (ДСТУ Б В.1.2-3:20065 п.7 поддатливое основание -1/500fu) :

$$f/H=0{,}2996/214=1/714<1/500$$

таким образом предельно допустимая деформативность каркаса высотного здания при граничном ветровом воздействии обеспечивается.

Сопоставление результатов расчета каркаса здания по ДБН [1, 2] и по данным обдува [6] показали, что максимальные горизонтальные деформации каркаса при аэродинамическом эксперименте на модели на 25-30% больше от данных полученных по ДБН В.1.2-2006, а крутильные составляющие деформаций могут превышать более чем в два раза.

Выводы.

Проведение дублирующих расчетов по данных аэродинамического эксперимента на модели подтверждает необходимость проведения таких модельных экспериментов для зданий неправильной формы в плане и высотностью более 200м. Разработанные в ПК "МОНОМАХ САПР", ПС "Компоновка САПР" расчетный аппарат и реализованная методика позволяют моделировать результаты дренажного эксперимента на произвольной пространственной модели здания с произвольной геометрией. Для работы в среде ПК "МОНОМАХ САПР" от пользователя не требуется глубоких знаний метода конечных элементов (МКЭ) и специфических знаний по работе со сложными расчетными комплексами, поскольку при создании расчетной модели сооружения ему предоставляется возможность оперировать общепринятыми терминами: оси, балки, плита, свая, колонна, этаж, отверстие, форма штампа приложенной нагрузки и т.д.

ЛИТЕРАТУРА.

1. ДБН В.2.2-24:2009. Проектування висотних житлових і громадських будинків. Мінрегіонбуд України, Київ, 2009.

2. ДБН-В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. К., 2006.

3. ДБН-В.1.1-12:2014. Будівництво в сейсмічних районах України. К., 2014.

4. ДБН-В.1.2-14. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. К., 2008.

5. ДБН В.1.1-5:2007 Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. К., 2007.

6. BMT Fluid Mechanics Limited. Project No43876. AOB Tower Kiev, Ukraine. Wind Climate Analysis, 2007.

АНОТАЦІЯ

Реализовані в ПК "МОНОМАХ САПР" чисельні методи будівельної механіки дозволяють виконувати розрахунки і проектування висотних споруд на сейсмічні і граничні вітрові навантаження по результатах обдуву в аеродинамічній трубі.

Ключові слова: висотна споруда, каркас, вітрові, сейсмічні навантаження, деформації.

ANNOTATION

Numerical methods of structural analysis implemented in MONOMAKH-SAPR software enable the user to analyze and design high-rise buildings on earthquake and ultimate wind loads according to results of aerodynamic blowing

Keywords: high-rise building, wind, seismic influences, deformations.