

Э.А. Лозинский

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры*

## **ВЕТРОВОЙ ПОДПОР ОТ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ В УСЛОВИЯХ УПЛОТНЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ**

*В данной статье рассмотрен один из вопросов строительной аэродинамики – ветровой подпор, возникающий при уплотнении существующей низкой жилой застройки высотным зданием. В таких условиях ветровой подпор возникает вокруг высотного здания при действии на него ветрового потока. Ветровой подпор характеризуется избыточным воздушным давлением, которое останавливает естественную вентиляцию в низких зданиях. Методами физического моделирования в аэродинамической трубе с пограничным слоем Донбасской национальной академии строительства и архитектуры было изучено поле ветровых давлений вокруг высотного здания, которое является причиной возникновения ветрового подпора. Поле ветрового давления представлено в виде средних коэффициентов давления на поверхности земли.*

***Ключевые слова:** ветровой подпор, высотное здание, строительная аэродинамика, аэродинамическая труба с пограничным слоем, коэффициент ветрового давления, ветровой поток, жилая застройка.*

**Постановка проблемы.** В небольших и крупных городах, в связи с дефицитом городской земли, низкие застройки уплотняют, встраивая в них высотные здания. Часто в таких жилых застройках подогрев воды осуществляется газовыми колонками с отводом продуктов сгорания через системы вентиляции при естественном побуждении движения воздуха в них. В случае появления в застройке высотного здания, возникает вопрос, будут ли вентиляционные системы работать в том же рабочем режиме, что и до реконструкции.

**Выделение не решенных ранее частей общей проблемы.** Здоровье и безопасность жизнедеятельности населения в многоквартирных домах зависит от нормальной работы вентиляции в квартире, особенно при наличии в ней газового оборудования. В жилищном строительстве применяются системы естественной приточно-вытяжной вентиляции. Работа такой системы зависит от температуры наружного воздуха, направления и силы ветра.

**Анализ последних исследований.** В научных публикациях поднимается тема о ветровых нагрузках, которые действуют на здания в окружении зданий городской территории. Ряд работ Plate E.J. и Davenport A.G. [9, 10] подтверждает необходимость и актуальность исследований ветровых нагрузок в городских районах, а также важность исследований интерференционных эффектов в ветровых нагрузках особенно вызванных действием высотного здания.

**Формулирование целей статьи.** Целью данной работы является разработка теоретически обоснованного подхода для определения влияния высотного здания при обтекании его воздушным потоком на существующую жилую застройку с учетом дееспособности вентиляционных систем.

### **Изложение основного материала.**

**1. Исходные положения.** Современная застройка городских пространств имеет ряд особенностей, которые отличаются от градостроительной структуры прошлого. Территории внутри городов освобождаются от градообразующих промышленных предприятий, происходит экспертное исследование сложившейся историко-архитектурной среды с последующей ее оценкой, упорядочением и реконструктивными действиями, воплощаются проекты новых центров с доминантными группами зданий, меняющие облик городской застройки. Архитектура зданий жилой и общественной

сферы приобретает новые черты: увеличивается этажность, изменяется геометрия планов, расширяются используемые площади.

Ретроспективный анализ строительной нормативной базы [1, 2], а также градостроительных и планировочных решений микрорайонов пятиэтажной застройки 60-70 гг. прошлого столетия свидетельствует о том, что показатели плотности этой жилой застройки уступают современным нормативам в 2,5 – 3 раза, т.е. пятиэтажная застройка имеет существенные резервы для строительства нового жилья за счет уплотнения, строительства новых жилых домов (см. рис. 1) на свободных внутриквартальных территориях.

Такой подход обеспечивает совмещение в пространстве и времени процессов нового жилищного строительства и реконструкции существующей жилой застройки, более эффективного использования городской территории и коммуникаций.



*Рисунок 1 – Пример встраивания высотного здания в существующую застройку*

Наряду с безусловно положительными явлениями, происходящими в современной городской застройке, отмечаются и явно отрицательные. Нехватка площадей для нового строительства при постоянном удорожании земли вызывает необходимость уплотнения застройки, что приводит к целому ряду негативных последствий: застройка дворовых пространств, предназначенных для озеленения и отдыха жителей; ликвидация детских и спортивных площадок; появление стихийных автомобильных стоянок; увеличение нагрузок на коммунальные сети. За всем этим стоит ухудшение экологических параметров среды. Но наиболее существенным недостатком уплотнения застройки является нарушение нормативных показателей естественной вентиляции низких существующих зданий.

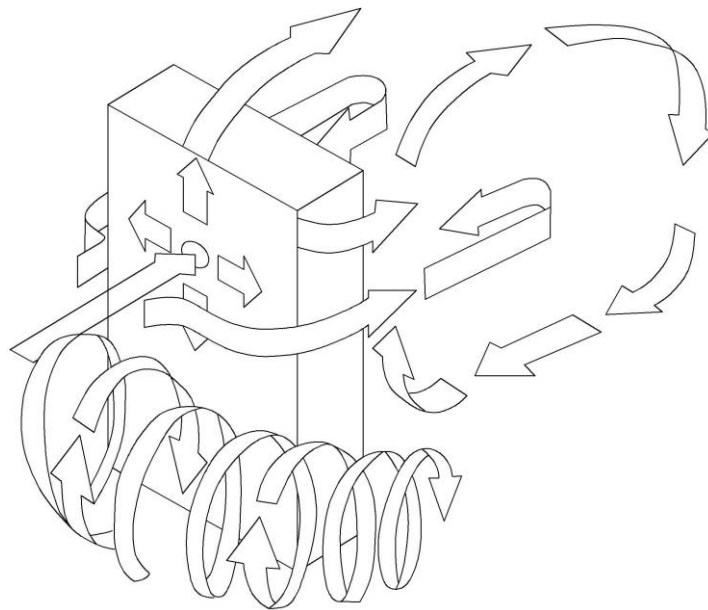
Очень часто при строительстве высотных зданий по соседству с малоэтажными или при уплотнительной застройке в пограничном пространстве между домами возникает зона ветрового подпора [3, 4]. Зоной ветрового подпора называется [5] пространство, расположенное ниже линии, проведенной под углом  $45^\circ$  от верха препятствия, которое задерживает движение воздушных масс. В зависимости от направления ветра в зоне может создаваться давление воздуха, отличное от барометрического. Если ветер дует в сторону препятствия и воздушные массы упираются в него, создается повышенное давление, величина которого зависит от скорости ветра.

При слабом ветре тяга значительно ухудшается, а при среднем - тяга «прокидывается», то есть воздух идет в обратном направлении: от устья вытяжной

вентиляционной шахты в помещение. При ветре с противоположной стороны в зоне ветрового подпора возникает разрежение, тяга начинает увеличиваться, что приводит к возникновению эффекта «дутья», сквозняков в помещении.

Целью данной работы является, используя методы физического моделирования, исследовать форму и поле ветрового воздействия, вызываемого высотным зданием в жилой застройке, что позволит принимать обоснованные проектные решения относительно уплотнения застройки. Под “воздействием” понимается появление на поверхностях кровель существующих зданий зон с повышенным (плюсовым) давлением, т.е. “подпор”, что может привести к торможению или обратному движению воздуха (снаружи внутрь помещений) в вентиляционных каналах.

**2. Аэродинамика застройки с высотным зданием.** Аэродинамический режим обтекания высотного здания характеризуется повышенными значениями давления ветра. Если для малоэтажных зданий ветровое давление принято считать равномерно действующим на все здание по высоте, то для высотного здания при расчете ветровых нагрузок и тепловых потерь необходимо учитывать рост скорости ветра по высоте.



*Рисунок 2 – Схема обтекания ветровым потоком высотного здания*

Высота здания определяет процесс обтекания его ветром. Если низкое здание попадает в зону повышенного давления от более высокого, то существует возможность появления подпора в районе кровли, что производит к обратной тяге в системах естественной вентиляции. В процессе обтекания высотного здания (см. рис. 2) воздух перемещается над кровлей в заветренную зону, на наветренной стороне воздух у поверхности фасада перемещается с уменьшением скорости вниз и в стороны к боковым фасадам в заветренную зону; по направлению к земле происходит рост скорости перемещения воздуха к боковым фасадам в заветренную вихревую зону. Давление верхних слоев воздуха на нижние слои при обтекании здания потоком ветра приводит к увеличению подвижности воздуха у поверхности земли.

Отвод продуктов сгорания от водонагревателей, отопительных котлов, печей [6] и воздухообмен в помещениях осуществляются через дымоходы и вентиляционные каналы за счет естественной тяги, создаваемой разностью температур наружного (холодного) и нагретого воздуха помещения. С увеличением высоты дымовой трубы или вентиляционного канала и разности температур наружного и удаляемого воздуха возрастает разрежение (тяга) в канале. Поэтому большая тяга наблюдается в каналах первого этажа и в летний период.

При работе водонагревателей температура продуктов горения перед газоотводящим устройством составляет 180-200 °С. В начальный период, а также при

значительном подсосе воздуха через газоотводящее устройство температура продуктов горения может быть ниже указанных величин. В вентиляционных каналах, где температура удаляемого воздуха равна 20-25°C, тяга очень мала. В летние периоды, когда температура воздуха в канале бывает ниже температуры наружного воздуха, может возникнуть обратная тяга (опрокидывание тяги), когда воздух будет поступать из канала в помещение.

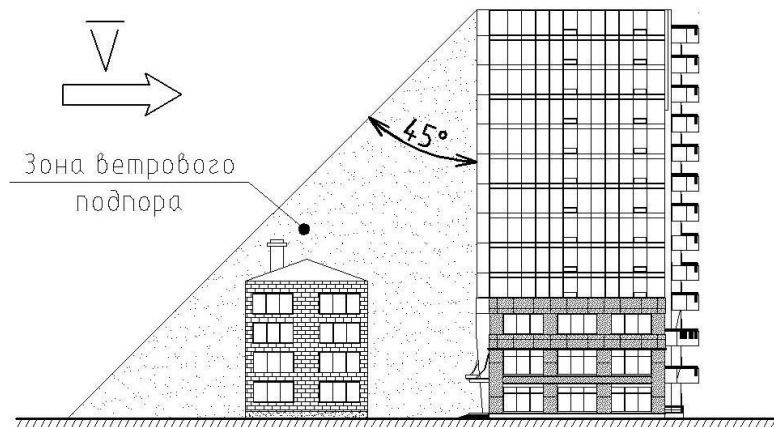


Рисунок 3 – Схема формирования зоны ветрового подпора

Величина разрежения (тяги) в дымовых каналах при работе водонагревателей и отопительных печей обычно составляет 10-15 Па, а в вентиляционных каналах – на порядок меньше. Тяга существенно изменяется при открытии фрамуги. На работу дымовых и вентиляционных каналов, а следовательно, воздухообмен в помещении влияют ветер, а также расположение дома относительно соседних зданий и сооружений. Нельзя допускать, чтобы дымовая труба находилась в зоне ветрового подпора. Зоной ветрового подпора (см. рис. 3) является зона, расположенная ниже линии, проведенной от самой высокой точки близлежащего к дымовой трубе здания, сооружения или дерева под углом 45° к горизонту.

**3. Физическое моделирование ветрового подпора.** Фундаментальный принцип моделирования в аэродинамической трубе основан на теории пространственного анализа, описанной во многих фундаментальных книгах по механике жидкости и газа, где говорится, что в проблеме с множеством параметров различные параметры необходимо сгруппировать в более мелкие пространственные группы, используя, например, теорему Бакингама. Функциональное соотношение групп определяется через моделирование в аэродинамической трубе и затем используется для масштабного и натурного моделирования [7, 9].

Приземный пограничный слой атмосферы представляет собой высокотурбулентный, непостоянный и неоднородный воздушный поток, который можно описать только с помощью стохастических методов. Турбулентная структура ветра такова, что, несмотря на стохастический характер, соседние частицы не являются независимыми друг от друга. Поток пограничного слоя можно описать с помощью стохастических функций. Это упрощает моделирование многих параметров при изучении аэродинамических процессов.

Турбулентный поток пограничного слоя естественным путем увеличивается очень медленно. Например, при начальном участке в 20 м толщина образованного пограничного слоя составит всего 40 см. Для более коротких начальных участков, которые необходимы с целью экономии места, создаются установки, которые искусственно увеличивают толщину пограничного слоя. Такая установка – аэродинамическая труба с пограничным слоем МАТ-1 Донбасской национальной академии строительства и архитектуры – использует метод Конигема, который основывается на элементах, образующих пограничный слой генераторами турбулентности и полями шероховатости.

Программа аэродинамических экспериментальных исследований моделей зданий в МАТ-1 предусматривала определения локальных коэффициентов ветрового давления ( $C_{pi}$ ) в 21 точке расположенные на условном уровне земли (см. рис. 4). В процессе исследования определялись зависимости  $C_{pi}=f(L)$  в наветренной и подветренной зонах зданий с переменными высотой –  $h$  и длиной –  $l$ .

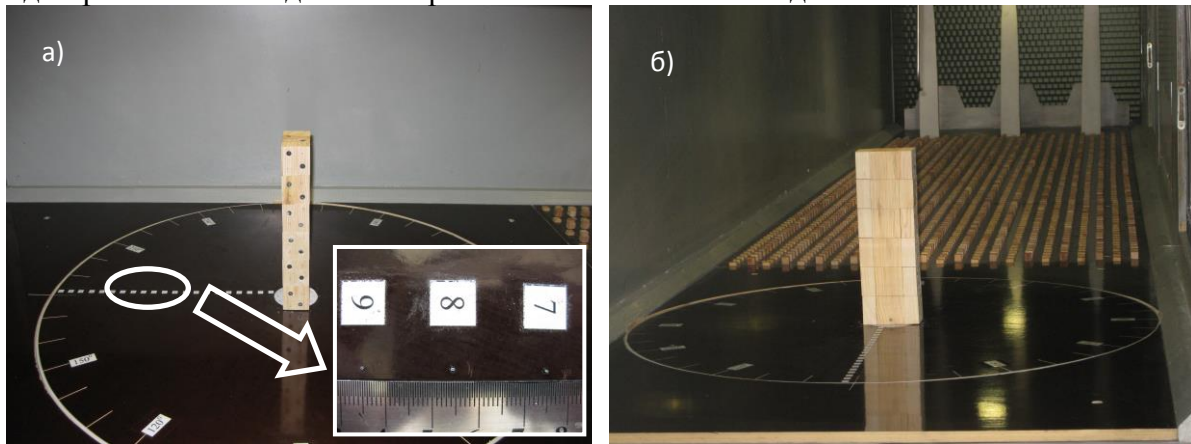


Рисунок 4 – Внешний вид модели высотного здания:  
а) расположение дренажных точек, б) модель в рабочей части МАТ-1

Исследования обтекания зданий, сооружений и других плохообтекаемых тел показали слабую зависимость безразмерных аэродинамических коэффициентов от числа Рейнольдса при  $Re > 10^3$ . Исходя из соображений получения достаточного уровня выходных сигналов датчиков давления, была принята рабочая скорость потока в аэродинамической трубе МАТ-1 -  $V \approx 20$  м/с, что даёт  $Re = 1,4 \cdot 10^5$ . Практическое отсутствие функциональной зависимости аэродинамических коэффициентов от числа Рейнольдса называется автомодельностью по этому критерию. В данном случае автомодельность обеспечивает наличие отрывов потока с острых углов кромок исследуемых объектов и наличие интенсивной турбулентности в зоне его размещения. Это позволило выполнить только условия геометрического подобия модели и натуре. Коэффициент ветрового давления в 21 точке модели квартала рассчитывались в соответствии с выражением:

$$C_p = \frac{\Delta P_i}{q}, \quad (1)$$

где  $\Delta P_i$  – избыточное давление в исследуемой точке относительно атмосферного давления;

$q$  – фактический скоростной напор в рабочей части аэродинамической трубы перед моделью:

$$q = \zeta_{пт} (P_{п} - P_{ст}), \quad (2)$$

Выражение (2) демонстрирует, что величина коэффициента давления зависит от распределения скорости потока воздуха, набегающего на модель.

Процесс измерения статического воздушного давления, преобразование его в электрический сигнал, обработка и отображение полученных результатов автоматизирован с использованием высокопродуктивной информационно-вычислительной системы «SCADA». В ее состав входят: пневмокоммутатор с датчиками давления, высокопроизводительный компьютер с системой преобразования аналогового сигнала в цифровой, а также соответствующая коммутационная аппаратура и источники электрического питания. Один цикл опроса занимает 1 с. В период одного цикла измерений каждая из дренажных точек опрашивалась двенадцать раз. В дальнейшей обработке соответствующие первичные сигналы по каждой дренажной точке усреднялись.

**4. Результаты экспериментов в аэродинамической трубе.** Изучение качественной картины обтекания расположенных на однородной горизонтальной поверхности моделей зданий показало, что возникающая при срыве потока с наветренной кромки циркуляционная зона может заканчиваться как на поверхности земли, так и на поверхности крыши (при достаточно большой ширине здания вдоль потока). Срываясь с подветренной кромки крыши, поток образует циркуляционную зону у подветренной стены здания (подветренную зону). В другом случае здание полностью погружено в циркуляционный поток, вследствие чего обратный поток движется у подветренной стены кверху, а над крышей - в сторону наветренной кромки: циркуляционная зона является единой.

Отрыв потока ветра происходит также перед зданием у поверхности земли, вследствие чего у наветренной стены возникает циркуляционная зона подпора. Аналогичная зона возникает у подветренной стены в пределах единой и подветренной зон.

Срыв потока происходит не только с горизонтальных кромок здания, но и с вертикальных, вследствие чего у торцевых стен также возникают циркуляционные зоны. Эти зоны могут быть едиными, то есть их длина может превышать длину торцевой стены, вследствие чего происходит слияние этих зон с подветренными зонами, и наветренными, то есть заканчивающимися у поверхности торцевой стены.

Таким образом, циркуляционные зоны, возникающие при обтекании ветром отдельно стоящих зданий простой формы, могут быть разделены на следующие разновидности:

- зона подпора, возникающая перед наветренной стеной отдельно стоящего здания;
- единая циркуляционная зона, возникающая при обтекании ветром узких (вдоль ветра) отдельно стоящих зданий;
- наветренная циркуляционная зона, возникающая над крышей у наветренной стены здания;
- подветренная циркуляционная зона, возникающая за подветренной стеной широкого отдельно стоящего здания;
- единая торцевая зона;
- наветренная торцевая зона.

Коэффициенты  $C_{pi}$  дали возможность определить картину обтекания ветровым потоком зданий и выявить зависимость границы аэродинамических процессов от ширины и высоты зданий. Примеры результатов экспериментальных исследований приведены в виде графиков зависимости  $C_{pi}=f(L)$  (см. рис. 5).

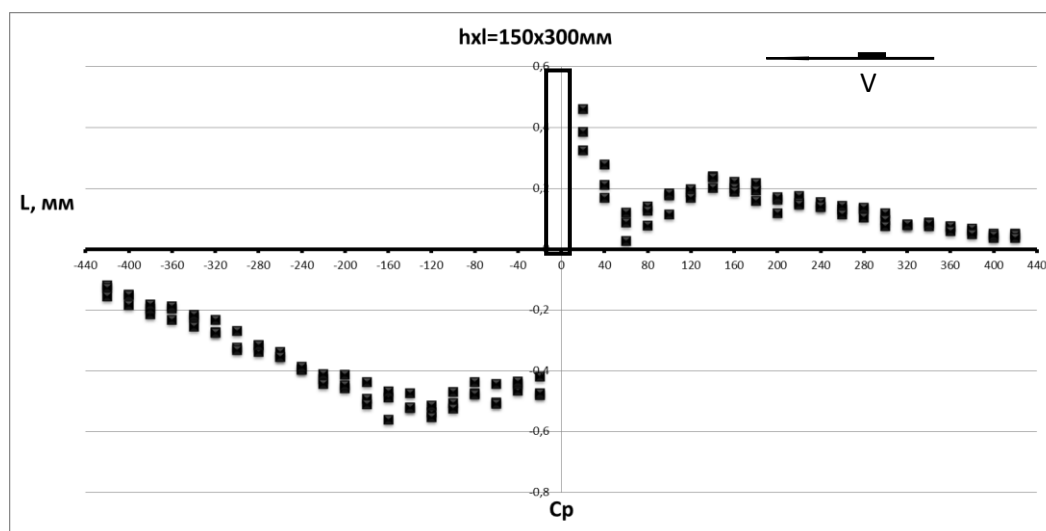


Рисунок 5 – Пример экспериментальных значений коэффициента  $C_{pi}$

Характерным размером циркуляционной зоны является ее наибольшая длина, измеренная в направлении движения ветра от точки отрыва до точки присоединения потока (в проекции на горизонтальную плоскость). Размеры циркуляционных зон для различных преград и условий их расположения на местности изменяются в широких пределах в зависимости от ряда факторов. Основными влияющими факторами являются относительные размеры преграды, ветрозащищенность, строение пограничного слоя ветра перед нею, зависящее от характера подлежащей местности и расположенных вверх по потоку других преград (зданий, сооружений, растительности и т. п.).

В связи с тем, что размеры циркуляционных зон зависят от большого числа факторов, путь определения вида расчетных зависимостей на основании только экспериментальных данных не представляется рациональным. Целесообразно, исходя из некоторых предположений, получить эти зависимости в общем виде, затем экспериментальным путем определить входящие в них значения постоянных величин.

В основу рабочей гипотезы положен вывод о пропорциональности длины циркуляционной зоны коэффициенту гидравлического сопротивления обтекаемой турбулентным потоком модели. Рабочая гипотеза заключается в том, что характер изменения длин циркуляционных зон принимается таким же, что и характер изменения коэффициента сопротивления. Таким образом, определив зависимости коэффициента сопротивления моделей, подобных различным размерам зданий, сможем определить общий вид формул, описывающих изменение размеров циркуляционных зон. Благодаря этому оказалось возможным использовать для получения расчетных зависимостей не только результаты собственных исследований, но и многочисленные данные, приведенные в публикациях по различным вопросам аэродинамики. Полученные расчетные зависимости удовлетворительно соответствуют экспериментальным данным.

Исходными данными для определения координат границ сложных циркуляционных зон являются размеры основных типов простых циркуляционных зон, которые можно рассчитать по следующим формулам (при  $l > 1,41H$  и направлении ветра вдоль оси симметрии здания):

- единая зона

$$l_e = 16H \left\{ 1 - \exp \left[ -0,186 \left( \frac{l}{H} \right)^{0,68} \right] \right\} \exp \left[ -0,57 \left( \frac{\delta}{H} \right)^{0,54} \right] + 1,3H \Phi_0 \left[ 4,5 \lg \left( \frac{H}{b} \right) \right] \text{ м}; \quad (3)$$

- наветренная зона

$$l_n = 7,8H \left\{ 1 - \exp \left[ -0,31 \left( \frac{l}{H} \right)^{0,68} \right] \right\} \exp \left[ -1,3 \left( \frac{\delta}{H} \right)^{0,54} \right] \text{ м}; \quad (4)$$

- подветренная зона

$$l_{ne} = 4,8H \left\{ 1 - \exp \left[ -0,4 \left( \frac{l}{H} \right)^{0,68} \right] \right\} \text{ м}; \quad (5)$$

- зона подпора

$$l_n = 1,5H \left\{ 1 - \exp \left[ -0,5 \left( \frac{l}{H} \right)^{0,68} \right] \right\} \exp \left[ -0,3 \left( \frac{\delta}{H} - 0,1 \right)^{0,54} \right] \text{ м}. \quad (6)$$

В формулах (3) - (6) приняты обозначения:

$l_e, l_n, l_{пв}, l_{п}$  - длины циркуляционных зон: единой, наветренной, подветренной, подпора соответственно, м;

$l, b, H$  - длина (расстояние между разбивочными осями здания в поперечном ветру направлении), ширина (то же, вдоль ветра) и высота здания (расстояние от поверхности земли до уровня кровли или до верха сплошного парапета при его наличии) соответственно, м;

$\delta$  - толщина вытеснения пограничного слоя ветра, набегающего на здание (характеризует строение пограничного слоя ветра, претерпевшего изменения вертикальных скоростных профилей под воздействием обтекаемых им зданий и сооружений), м;

$$\Phi_0 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^t \exp(-0.5t^2) dt - \text{интеграл Гаусса.} \quad (7)$$

Индексы означают: е, н, п - единая, наветренная, подветренная зоны; п - зона подпора. Здесь и дальше начало координат расположено в центре проекции соответствующей отрывной кромки.

Расчетной длиной циркуляционной зоны считается наибольшее расстояние в плане (по оси симметрии здания) вдоль направления ветра от отрывной кромки крыши или стены до точки присоединения потока (конца зоны), лежащей на поверхности земли, на крыше или стене того же или соседнего здания. Под отрывными кромками зданий и их элементов понимаются линии пересечения плоскостей стен и крыш и стен между собой.

#### 5. Выводы.

1. Разработана методика проведения аэродинамического эксперимента обтекания зданий с целью определения границ ветрового подпора.

2. Определена зависимость между значениями коэффициента  $C_{pi}$  числом Рейнольдса и распределением скорости ветрового потока в приземно-пограничном слое.

3. Экспериментальным путем определены средние локальные коэффициенты  $C_{pi}$ , которые позволили определить границы ветрового подпора в зависимости от изменения ширины и высоты высотного здания.

#### Литература

1. Кузнецов С.Г. Територіальне планування і розвиток міст / С.Г. Кузнецов, І.І. Ананян, Л.М. Богак // – Донецьк: Норд-Пресс, 2008. - 335 с.

2. Ананян И.И. Комплексная реконструкция застройки как метод обеспечения устойчивого развития жилой среды / И.И. Ананян, Л.Н. Богак, С.Г. Кузнецов // Зб. наук. праць «Комунальне господарство міст». - Київ: Техніка. – 2010, випуск 95. – С. 42 – 46.

3. Павловский Р.Н. Работа вентиляционных систем пятиэтажного здания под влиянием высотного / Р.Н. Павловский, П.М. Виноградский, С.Г. Кузнецов, П.В. Артамонов // Зб. наук. праць Луганського національного аграрного ун-ту. – 2005. – № 45(68). – С. 107 – 115.

4. Павловский Р.М. Аеродинамічний вплив висотних будинків на роботу витяжних вентиляційних систем сусідніх малоповерхових будинків / Р.М. Павловский // «Сучасне промислове та цивільне будівництво», Макіївка: ДонНАБА. – 2010. – Т. 6 №3. – С. 131 – 144.

5. ДБН В.2.5-205-2001 "Газоснабжение". Государственный комитет строительства, архитектуры и жилищной политики Украины.- Киев: Укрархбудінформ, 2001. 290 с.

6. Gorokhov E.V. Distribution of heat emissions from the heating systems of residential buildings in a built-up area / E.V. Gorokhov, V.N. Vasylev, S.G. Kuznetsov, G.A. Nazarov, E.A. Lozinskiy // Environmental effects on buildings and people "Actions, influences, interactions, discomfort". – Polish Association for Wind Engineering Cracow, 2010. – P. 341-350.



7. Горохов Е.В. Экспериментальные методы определения ветровых нагрузок на здания и сооружения / С.Г. Кузнецов // – Донецк: Норд-Пресс, 2009. - 168 с.

8. Горохов Е.В. Расчет ветровых нагрузок на конструкции в условиях городской застройки / Е.В. Горохов, С.Г.Кузнецов, В.Н. Васылев // Зб. наук. праць Українського наук.-досл. та проектного інституту сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського (Київ). – 2008. – №1. – С. 16–23.

9. Plate E.J., Kiefer H. Wind loads in urban areas. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 89, 2001. pp. 1233-1256.

10. Plate E.J., Davenport A.G. The risk of wind effects in cities. in: Cermak, et al., *Wind Climates in Cities, Proceedings of the NATO Advanced Study Institute in Waldbronn, Germany, NATO ASI Series, 277, Kluwer, Dordrecht, Netherlands, 1995. pp. 1-20.*

Надійшла до редакції 16.12. 2011

© Э.А. Лозинский

**Е.О. Лозинський**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури*

### **ВІТРОВИЙ ПІДПІР ВІД ВИСОТНОЇ БУДІВЛІ В УМОВАХ УЩІЛЬНЕННЯ ІСНУЮЧОЇ ЖИТЛОВОЇ ЗАБУДОВИ**

*У даній статті розглянуто одне з питань будівельної аеродинаміки - вітровий підпір, який виникає при ущільненні існуючої низької житлової забудови висотною будівлею. В таких умовах вітровий підпір виникає навколо висотної будівлі при дії на нього вітрового потоку. Вітровий підпір характеризується надлишковим повітряним тиском, який зупиняє природну вентиляцію в низьких будівлях. Методами фізичного моделювання в аеродинамічній трубі з пограничним шаром Донбаської національної академії будівництва та архітектури було вивчено поле вітрових тисків навколо висотної будівлі, що є причиною виникнення вітрового підпору. Поле вітрового тиску представлено у вигляді середніх коефіцієнтів тиску на поверхні землі.*

**Ключові слова:** вітровий підпір, висотна будівля, будівельна аеродинаміка, аеродинамічна труба з пограничним шаром, коефіцієнт вітрового тиску, вітровий потік, житлова забудова.

**E.A. Lozinskiy**

*Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture*

### **WIND BRACE FROM A TALL BUILDING IN THE CONDITIONS OF CONDENSING RESIDENTIAL BUILT-UP AREA**

*The paper investigates one of the problems of wind engineering, namely the wind brace, which appears in the conditions of condensing the existing low residential built-up area by a tall building. In these conditions the wind brace around tall building appears under the influence of wind flow. The wind brace is characterized by surplus wind pressure, which prevents natural ventilation in low buildings. Using the techniques of physical simulation in the boundary layer wind tunnel of Donbass National Academy of civil engineering and architecture the authors research the wind pressure flow around a tall building, which causes the wind brace. The wind pressure flow is represented in the form of mean pressure coefficients on the ground level.*

**Keywords:** wind brace, tall building, wind engineering, boundary layer wind tunnel, wind pressure coefficient, wind flow, residential built-up area.