

За результатами виконаних досліджень зроблені такі висновки:

- вогнезахисні покриття ВП-1 та ВП-2 ефективно захищають бетон протягом більше 1 год дії пожежі за стандартною температурною кривою;
- візуальні спостереження та огляд дослідних зразків під час нагрівання та після випробування показав, що вогнезахисні покриття зберігають свої властивості до 90-ї хв стандартної пожежі, після чого відбувається їх поступове руйнування і сповзання з поверхні бетону;
- збільшення товщини вогнезахисного покриття ВП-1 від 5 мм до 10 мм робить його ефективнішим, що видно з рис. 5, а саме, на 40-ій хв. нагрівання розходження між температурами поверхні бетонних кубиків досягнуло 150 °С; однак, покриття завтовшки 5 мм краще тримається поверхні бетону і не сповзає навіть при температурі 1000 °С;
- порівняння результатів прогрівання бетонних кубиків з різними вогнезахисними покриттями ВП-1 та ВП-2 завтовшки 10 мм показало їх майже повний збіг (див. рис. 6), з чого можна зробити висновок, що покриття ВП-1 та ВП-2 однаково ефективні у вогнезахисті, при цьому покриття ВП-2 є дешевшим через меншу кількість складників; але покриття ВП-2 відрізняється від ВП-1 меншою адгезією бетону.

1. Демчина Б.Г., Пелех А.Б., Фіцик В.С. Ефективність використання вогнезахисного покриття при випробуваннях бетону на дію високих температур // Таврійський науковий вісник. Вип. 20. – Херсон: Атлант, 2001. – С. 236 – 241. 2. Пат. України № 38256 А. Вогнезахисне покриття. Бюл. № 4 – Київ: МОНУ, 2001. 3. Пат. України № 47993 А. Вогнезахисне покриття. – Київ: МОНУ, 2002. 4. Гитман Р.Е., Олимпіев В.Г. Расчёт железобетонных перекрытий на огнестойкость. – М.: Стройиздат, 1970, – 232 с.

УДК 691.328

І.М. Добрянський, С.С. Лопатка
Львівський державний аграрний університет

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОФІЛІВ ЗМІННОГО З ВИСОТОЮ ВІТРОВОГО ТИСКУ НА БУДІВЛІ І СПОРУДИ

© Добрянський І.М., Лопатка С.С., 2002.

Отримані результати для перевірки положень ДБН щодо профілів вітрового тиску для висотних споруд в умовах міської забудови, створення рекомендацій для нових будівельних Норм України, оцінки транскордонних переносів забруднень у вільній атмосфері та для оптимізації експлуатації і будівництва висотних будівельних конструкцій у регіоні. Показано, що дослідження профілів змінного з висотою вітрового тиску на будівлі і споруди можливо проводити дистанційним методом з комплексним використанням висококласної аналогової та цифрової техніки на базі не пристосованого для даної мети обладнання для аерологічних спостережень служб Держкомгідромету.

Вступ. Нормативні документи у галузі будівництва у Європі та США у останні 5 років зазнають серйозного перегляду (що, зокрема, призвело до створення Єврокоду – міжнародного нормативного проекту) внаслідок накопичення нових даних про стан

будівельної науки, зокрема її розділів, які стосуються навантажень на будівлі та споруди. У той же час в Україні продовжують діяти нормативні документи у галузі будівництва, розроблені ще наприкінці 70-х років в СРСР та узаконені у СНІП 1984 року, що характеризуються слабкою деталізацією, проробленістю лише для найбільших міст. Вся територія колишнього СРСР, що займала 1/6 частину суші, була розділена всього на 7 районів щодо швидкісного напору приземного вітру. Райони були нанесені на карту такого масштабу, що лише товщина лінії-границі району становила близько сотні кілометрів. За останні 25 років зібрано дані, що серйозно доповнюють існуючі на момент розробки цих Норм, а подекуди заперечують їх.

З іншого боку, розвиток цифрової техніки останніх років створив реальні передумови для покращання якості збору експериментальних даних про навантаження на конструкції, зокрема зумовлені вітровим навантаженням змінного з висотою профілю. В Україні, зокрема в галузі сільськогосподарського будівництва, згадана техніка не набула адекватного поширення, хоча використання цифрових приладів та програмного забезпечення до них власної розробки дає порівняно з закупівлею закордонних аналогів (які відсутні на «піратському» ринку програмних продуктів через свою унікальність) економічний ефект у тисячі відсотків. У зв'язку з цим завдання створення власного програмного забезпечення для існуючих цифрових універсальних вимірювальних систем з метою динамічного вимірювання параметрів вітрових потоків по висоті споруди є актуальним. Вперше у роботі* було поставлене питання про багатоканальний засіб автоматизації експерименту для динамічних випробувань.

Результати дослідження. Для більшості висотних споруд та конструкцій вітрове навантаження є визначальним при їх розрахунках та експлуатації. Оскільки протягом тривалого часу визначення розподілу швидкісних напорів з висотою було спряжене з величезними труднощами, були зроблені кроки до встановлення проектного швидкісного напору на заданій висоті через швидкість приземного вітру, яка приймається відомою.

Відповідно до чинних нормативних документів для опису вертикальних профілів середніх швидкостей вітру (без урахування турбулізації потоку) використовують ступеневий закон

$$v(z) = v_{\text{анем}} \left(\frac{z}{z_{\text{анем}}} \right)^{\alpha} \quad (1)$$

де $v(z)$ – швидкість вітру на висоті z над землею (м/с); $v_{\text{анем}}$ – швидкість вітру на стандартному рівні розташування анемометра (м/с); z – висота над землею (м); $z_{\text{анем}}$ – висота розташування анемометра (м, як правило, 10м); α – показник, що вважається залежним від температурної стратифікації, шорсткості підстилаючої поверхні та швидкості вітру.

У будівельній літературі зустрічається також логарифмічний закон зміни вітрового тиску з висотою (2):

$$v(z) = v_{\text{анем}} \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{\text{анем}}}{z_0}\right)} \quad (2)$$

де z_0 – параметр шорсткості.

* Добрянський І.М., Бурнаєв О.М., Лопатка С.С. Багатоканальний засіб автоматизації експерименту для динамічних випробувань // Вісник ЛДАУ “Агроінженерні дослідження”. – 2001. – №5. – С. 303–310.

Параметр шорсткості у формулі (2) вважається зручним через те, що має розмірність висоти перешкод.

Точність апроксимації профілів вітру у приземному шарі атмосфери ступеневим законом (1) та логарифмічним законом (2) розглядалась багатьма авторами. Зокрема, чинні дотепер в Україні СНиП-84 «Нагрузки и воздействия» розроблялись на основі дослідів до висоти 300 м у Обнінську та на телевізійній вежі у Києві. Дещо більша інформація зібрана за кордоном. При таких дослідженнях профілі вітру усереднювались з численних спостережень як біля поверхні землі, так і на висотах, враховувалась стратифікація атмосфери. Було встановлено, що середні швидкості вітру до висоти 300 м апроксимуються ступеневим законом дещо точніше, ніж логарифмічним. При сильних вітрах на висоті 200-300 м та стійкій стратифікації атмосфери профілі швидкостей значно точніше описуються ступеневим законом, ніж логарифмічним. Враховуючи це, у будівельних Нормах прийнятий ступеневий закон зміни швидкісних напорів (1) з висотою.

Вплив температурної стратифікації. На основі гідродинамічної аналогії вважається, що з підвищенням швидкості приземного вітру збільшуються його вертикальні градієнти біля самої підстилаючої поверхні і виникає посилення вертикального перемішування між суміжними шарами повітря. Це має призвести до збільшення градієнтів не тільки внизу, але і в усьому приземному шарі. Тому вплив стратифікації має проявлятися у посиленні або послабленні вертикального обміну між шарами повітря, оскільки стійкість повітряних мас (стійка стратифікація) утруднює вертикальний обмін, тобто перешкоджає вирівнюванню швидкостей по висоті. Тому вертикальні градієнти швидкості вітру при стійкій стратифікації виявляються більшими, ніж при нестійкій. Оскільки стратифікація суттєво впливає на профіль вітрового тиску, важливим стає знання розподілу температури повітря у профілі вітру. При зростанні швидкості вітру вважається, що роль стратифікації зменшується і зовсім зникає, імовірно, при деякому значному за величиною приземному вітрі. Як свідчить аналіз літературних джерел, вказані міркування свідчать про зменшення ролі стратифікації при підвищенні швидкості вітру, проте вони зустрічаються у літературі суто на інтуїтивному рівні, з використанням відомих теоретичних аналогій, але без серйозних натурних експериментальних підтверджень.

Шорсткість підстилаючої поверхні. Цей показник вважається одним із основних чинників, що впливають на формування профілів вітрового тиску у приграничному шарі атмосфери. Його вплив на профілі найлегше оцінити при байдужій стратифікації атмосфери, коли ці профілі найточніше апроксимуються ступеневими та логарифмічними законами. Порівнюючи між собою значення α при байдужій стратифікації у пунктах з фізично різними ступенями шорсткості підстилаючої поверхні, можна отримати кількісні оцінки впливу цієї шорсткості на вертикальні профілі вітрового тиску.

За даними літературних джерел у таблиці зібрані значення параметра α , обчислені при байдужій стратифікації атмосфери у пунктах з різним ступенем шорсткості підстилаючої поверхні. З таблиці видно, що значення α змінюються у широких межах, і над рівною місцевістю вони суттєво менші, ніж над горбистою і неоднорідною. Найбільший вплив на величину параметра α має найближче оточення щогли, на якій проводились спостереження. Навіть великі неоднорідності, що знаходяться на віддалі від щогли, помітного впливу на профіль вітрового тиску при байдужій стратифікації не відіграють.

Значення параметра α за даними досліджень різних авторів

№ з/п	Назва пункту	α	Висота, м	Місце спостережень
1	Квікборн (ФРН)	0,2	2-70	Луки
2	Нідеррейн (ФРН)	0,3	3-103	Малоповерхові споруди
3	Кельн (ФРН)	0,34	12-90	Місто
4	Вунсторф (ФРН)	0,51	11-80	Місто
5	Науен (Німеччина) 1912-1916	0,12	2-258	Рівна місцевість
6	Київ	0,32- 0,39	32-180	Багатоповерховий центр міста
7	Кавагучі (Японія)	0,26	10-312	Рисові поля, соснові ліски
8	Чедар-Хілл (США)	0,14	9-137	Рівнина, трава
9	Тельмедж (Огайо, США)	0,2	11-49	Рівнина
10	Ханформ (Вашінгтон, США)	0,12	15-122	Гірська місцевість
11	Айдахо-Фолс (США)	0,18	6-61	Пустеля
12	Брукхевен (США)	0,29	11-125	Поблизу лісу
13	Харуел (Англія)	0,08	9-27	Аеродром
14	Обнінськ (Росія)	0,15	8-289	За 400 м ліс, за 800- багатоповерхові будівлі

Дослідження з вивчення впливу шорсткості поверхні на профіль вітрового тиску при великих швидкостях біля поверхні землі були досліджені також у Києві, Новосибірську, Ленінграді, Обнінську. Висота нижнього рівня вимірювань була від 24 до 32 м, а верхнього – до 200 м. Як показав порівняльний аналіз, значення α навіть при однакових приземних швидкостях у різних пунктах відрізняються між собою. Зокрема, при швидкості приземного вітру 10 м/с величина α для Києва, де щогла захищена 8-10 поверховими будинками, становить близько 0,3. Для таких же умов в Обнінську значення α було всього 0,1. Для Ленінграда та Новосибірська, де параметр шорсткості (висота перешкод) становив 1-2 м, параметр α отримав значення 0,2.

З аналізу літератури випливає, що спеціальних закономірностей для знаходження параметра α не існує, і його необхідно шукати дослідним шляхом для кожної конкретної місцевості.

Вплив швидкості вітру. На основі досліджень профілів вітру у 6 телевізійних та 1 висотної метеорологічної вежі СРСР можна зробити висновок, що показник α , як правило, зменшується з підсиленням приземного вітру. Цей процес, наявний при усіх спостережених швидкостях вітру, сповільнюється при великих швидкостях. За даними вимірювань, проведених на 150-метровій щоглі в Сале (Австралія), встановлено, що показник ступеня α зменшується від 0,19 при швидкості вітру 10-11 м/с на висоті 12 м до 0,10 при швидкості 22 м/с. У Обнінську α зменшується від 0,5 до 0,10-0,12 при зміні швидкості на висоті 8 м від 1 до 10 м/с. При дуже сильному приземному вітрі значення α близьке до нуля, тобто швидкість вітру вирівнюється по висоті у всьому шарі. Проведені численні експериментальні спостереження заперечують це твердження.

Вертикальні профілі швидкостей і швидкісних напорів вітру. Для побудови таких профілів вводять 3 типи підстилаючої поверхні:

- тип А – місцевість зі слабкою захищеністю;
- тип Б – місцевість з помірною захищеністю;
- тип В – місцевість з сильною захищеністю.

Вказані типи деталізуються у чинних будівельних нормах, проте лише словесними означеннями. Давенпорт пропонує встановлювати для кожного з типів поверхні коефіцієнти шорсткості α , що дорівнюють відповідно $\alpha_A = 0,16$; $\alpha_B = 0,28$; $\alpha_V = 0,40$.

Практика проектування і будівництва будинків підвищеної поверховості (20-30 поверхів) у великих містах України дозволила дещо прояснити питання зміни профілю вітрового тиску з висотою. Як правило, такі будівлі споруджують на околицях міст в умовах слабкої захищеності, тоді як з розбудовою нових багатоповерхових мікрорайонів захищеність зростає. Зниження швидкості вітру при цьому становить 40-50%.

Практика світового будівництва висотних конструкцій може оперувати обмеженою кількістю місць, для яких встановлені коефіцієнти профілів швидкостей вітру. Серед цих місць (див. також таблицю) : Петербург (0,41), Нью-Йорк (0,39), Копенгаген (0,38), Москва (0,37), Київ (0,35), Токіо (0,34, 0,28, 0,18, 0,29 – у різних районах), Монреаль (0,28), Каспійське море (0,1) Сан-Луїс (0,23, 0,28), Фарнборуг (0,28), Брукхевен (0,32, 0,35, 0,29, 0,26), Оркней (0,2), Кловіс (0,2), Саванан-Рівер (0,17), Лондон-Канада (0,20), о. Хонсю (0,19), Лопік (0,18), Лієфільд (0,19), Саффільд (0,16), Енн Арбор (0,14), Даллас (0,13).

Забігаючи наперед, долучимо до цього списку місто Львів, Україна (0,35, 0,40).

Різниця у встановленні коефіцієнта α полягає у тому, що для усіх перелічених пунктів, крім Львова, профілі вітрового тиску вимірялись на вже існуючих висотних спорудах. Обмеженнями при цьому була їх висота. Зокрема, Ейфелева вежа (Париж) – 300 м, показник ступеня 0.45; Ленінград – 147м; Нью-Йорк – 375м, Копенгаген – 72м; Лондон (Велика Британія) – 180 м; Лондон (Канада) – 41м; Київ – 177м; Токіо – 60м та 246м; Монреаль – 295м; Сент-Луїс – 136м. Про частоту встановлення анемометрів чи інших давачів вітрового тиску по висоті споруди у літературі не згадується. Не вказується також, що необхідно робити для встановлення проектного профілю вітрового тиску для споруди, яка тільки проектується, і безпосереднього доступу на висоту немає.

На відміну від попереднього переліку, у Львові здійснено вимірювання до висот від 15 до 29 км з роздільною здатністю 6 метрів по вертикалі з використання дистанційного методу, що не потребує наявності поблизу жодних висотних споруд чи конструкцій.

Методи вивчення профілів вітрового тиску на будівельні конструкції. Існує принаймні два способи контролю вітрових потоків по висоті споруди – встановлення численних давачів через певні проміжки та у різних місцях будівлі та вивчення параметрів повітря у атмосфері, не збуреній присутністю будівельної конструкції методом куль-пілотів чи радіозондів (лідарне, тобто лазерне інфрачервоного діапазону, сканування, що дозволяє визначати швидкість вітру у прозорому повітрі, через недоступність не розглядається). Очевидні обмеження методу встановлення анемометрів по висоті споруди: насамперед потрібно мати у даному регіоні висотну конструкцію та доступ до неї, а також не завжди легко позбутись впливу даної конструкції на вітровий потік. Замість цього виникла унікальна можливість скористатись регулярними аерологічними запусками радіозондів в атмосфері, що виконуються Укрдержкомгідрометом.

З восьми аерологічних станцій, які випускають кулі з радіозондами в атмосферу України, одна знаходиться у Львові, хоча і здійснює спостереження лише для стандартних висот, що поблизу поверхні землі віддалені між собою на сотні метрів.

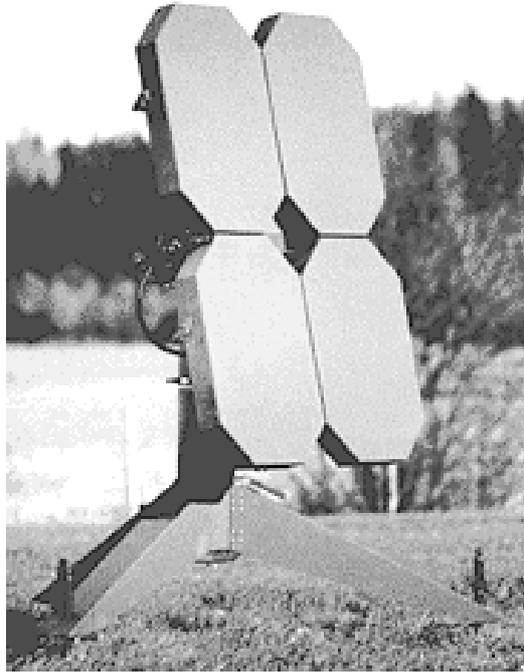


Рис. 1. Аерологічний радіолокатор фінської фірми Vaisala – одного із світових лідерів з виробництва обладнання для зондування атмосфери

Шляхом підключення до існуючого обладнання стандартного реєстратора (самописця з подальшою оцифровкою отриманих графіків або цифрового приладу з записом даних безпосередньо у ЕОМ), можна без перешкод штатним аерологічним вимірюванням проводити паралельну реєстрацію даних з високою роздільною здатністю. Перевага такого методу перед розміщенням десятка давачів по висоті споруди очевидна як з погляду затрат праці та фінансів, так і з методичних міркувань синхронізації вимірювань.

Для вимірювання вертикальних профілів вітрового тиску розроблено апаратно-програмний комплекс для підключення до аерологічної радіолокаційної станції. Він складається з апаратної частини для передачі даних радіолокатора на реєструюче обладнання та пакетів програмного забезпечення для проведення автоматичних розрахунків усіх параметрів. Він має паралельне підключення до обладнання радіолокатора шляхом гальванічної розв'язки, що дозволило проводити його випробування і доробку одночасно під час кількох десятків планових випусків аерологічних зондів протягом двох останніх років, на основі яких зроблено висновки про вітровий тиск над різними типами забудови м. Львова.

Висновок. Для кожного населеного пункту і навіть для різних його районів ці характеристики є різними і вимагають наявності спеціального обладнання, особливо для обстеження навантажень перед будівництвом висотної споруди, її реконструкції.

Вперше в будівельній практиці України та світу дослідження вітрового впливу на висотні споруди та атмосферний перенос забруднень, зокрема будівельною промисловістю, автором статті пропонується провести дистанційним методом з комплексним використанням висококласної аналогової та цифрової техніки на базі не пристосованого для даної мети обладнання для аерологічних спостережень служб Держкомгідромету.