

УДК 539.3

Іванченко Г.М., канд. техн. наук,
Голуб О.О.

МОДЕЛЮВАННЯ СМЕРЧОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ВЕЛИКОГАБАРИТНІ СПОРУДИ

Смерч (торнадо) – рухомий атмосферний вихор, який поширюється зі швидкістю до 20 м/с, а швидкість повітря при обертальному русі досягає сотень метрів за секунду. Повітря в смерчі обертається і одночасно піднімається по спіралі, втягуючи всередину пил, воду, різні предмети. На своєму шляху смерч завдає значних пошкоджень будовам, вириває дерева, переміщує предмети і легкі споруди [1]. Тому при проектуванні найбільш відповідальних об'єктів необхідно проводити їх розрахунок на смерчове навантаження. На сьогодні в Україні і в сусідніх державах не існує нормативної бази на врахування смерчового навантаження при проектуванні, рекомендацій по його моделюванню та алгоритму розрахунку споруд та конструкцій на його дію. В науковій літературі розглядаються декілька спрощених моделей смерчу, але здебільшого для вивчення самого явища, а не його взаємодію з іншими об'єктами. Тому дослідження в цьому напрямку є актуальними.

Для виникнення смерчів найбільш сприятливі умови існують у грозових хмарах, звідки ці вихрі опускаються до землі. У США, де смерчі породжуються приблизно в 40...60 разів частіше, ніж у Європі, їх кількість на рік дорівнює кількості гроз. У пустелях при сильному нагріванні сонцем піщаної поверхні також виникають невеликі смерчі діаметром близько 2...4 м і висотою до 0,5...1 км. В окремих випадках пустельні смерчі можуть існувати до 2 годин [2]. На території України сильні смерчі утворюються досить рідко, але і менш інтенсивні вихрі, враховуючи їх руйнівну дію, також наносять значних збитків навколишньому середовищу і спорудам.

Науковці на основі системи гіпотез, вивчаючи причини породження та кінематику вихрових збурень, створили декілька моделей смерчу, які потребують подальшого аналізу стосовно їх взаємодії з об'єктами будівництва та природними перешкодами. Крім захисту від смерчового навантаження ведеться пошук шляхів використання енергії смерчів в практичних цілях. Найпростішими із запропонованих моделей є циліндрична (рис.1, а) з постійним по висоті радіусом R рухомого стовпа та конусоподібна (рис.1, б), для якої ідеалізований смерчовий стовп міняє по висоті радіус від r до R .

Усі моделі у своїй структурі розрізняють центральну частину – ядро і периферію – мантию. Обертальний рух повітря в ядрі смерчу моделюється з постійною кутовою швидкістю, як у твердому тілі. За межами ядра, у мантиї, кутова швидкість з віддаленням від осі обертання поступово зменшується. Горизонтальна швидкість повітря в ядрі вихра складає в середньому 40...50 м/сек, іноді може досягати 100 м/сек. [2].

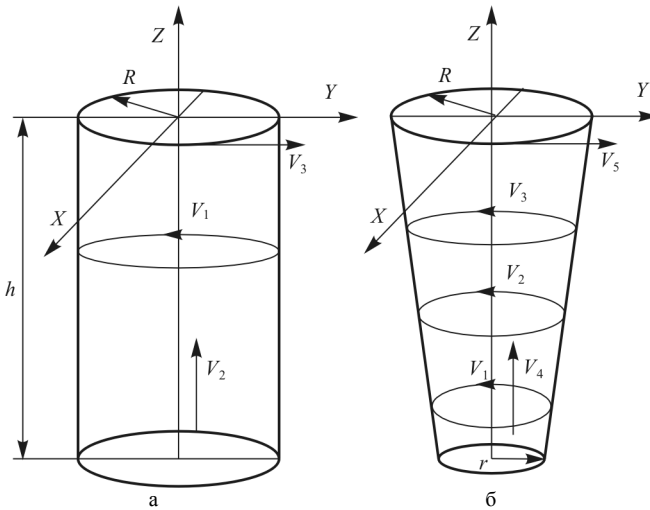


Рис. 1

Дослідження гідрометеорологів показали, що на початковій стадії зародження смерчу всередині грозової хмари утворюється мезоциклон з радіусом 5-10 км. Згори граничний шар повітря, що обертається, знаходиться у циклострофічному балансі, тобто радіальні рухи (до осі і від неї) пригнічені. Тому повітря, яке здіймається, надходить до мезоциклону, як за звичай, знизу – з ділянки, де потік конвегує. При подальшому розвитку мезоциклону його радіус зменшується до декількох кілометрів, і для збереження кількості руху швидкість обертання повітря повинна збільшуватись (тобто швидкість збільшується при зменшенні висоти). Проаналізувавши процес утворення вихру можна стверджувати, що конусоподібна модель (рис.1, б) є більш повною при описуванні фізичних характеристик смерчу.

На етапі формування смерчу всередині мезоциклону утворюється ядро – область, в якій швидкість обертання досить значна. Швидкості обертального V_1 , V_2 , V_3 та вертикального V_4 (рис.1, б) рухів зростають, вихрова трубка звужується і, витягуючись донизу, досягає поверхні землі

– утворюється смерч. Кінематичні та динамічні особливості вихрових високошвидкісних потоків повітря, які лягли в основу математичних моделей смерчів обумовлюють відмінність смерчового навантаження від моделей статичного та динамічного вітрових впливів, які передбачені нормами проектування [4]. Моделі смерчу будуються на узагальненні даних, отриманих багаторічним спостереженням за цими складними природними явищами [3]. Крім напору, обумовленого поступальним рухом повітря, при смерчі виникають рухомі зони пониженого тиску, викликані обертальним рухом вихру, та додатковий напір від тангенціальної складової швидкості.

Особливість дії смерчу на великогабаритні споруди полягає в її локальності. Наявність локального процесу (до якого відноситься смерч) пояснюється відмінністю будь-якої його характеристики (тиску, температури, щільності і т.д.) від відповідного параметру навколишнього середовища. Тиск в ядрі смерчу менший, ніж в оточуючій атмосфері, що призводить до підтягування повітря з поверхні землі в середину смерчу. Повітря, піднімаючись догори, охолоджується, і його швидкість зменшується. Уявний горизонтальний розріз області атмосфери, охопленої торнадо, показує, що на будь-якій висоті температура, тиск, щільність і маса в середині смерчу будуть відрізнятися від цих характеристик в атмосфері. Очевидно, смерчове навантаження, переміщуючись із швидкістю поступального руху V_5 (рис.1, б) вздовж споруди, спричинюватиме небажані коливання. В свою чергу великогабаритні споруди матимуть зворотній вплив на форму та кінематичні параметри смерчового стовпа.

Потенційна енергія положення (гравітаційна енергія) сумісно з енергією обертального руху значних мас атмосферного повітря є джерелом тієї потужності смерчу, що так вражає діє на свідомість. Вона також є причиною тривалого існування смерчу. За рахунок внутрішнього тертя енергія обертального руху від маси середовища приосьової області передається секундній масі атмосферного повітря по всій висоті смерчу. В свою чергу, від секундної маси потоку центральної області, який обертається, також за рахунок внутрішнього тертя енергія обертального руху передається масі середовища приосьової області. Утворюється своєрідний атмосферний насос, який перекачує через себе значну масу атмосферного повітря. Таким чином реалізується природна газодинамічна самопідтримуюча енергетична система [3]. В реальних смерчах мають місце внутрішні газодинамічні втрати енергії. Їх джерелом є динамічна взаємодія між масою середовища приосьової області та потоком маси в центральній області. Крім цього, мають місце втрати, пов'язані з нерівномірністю розподілення осьової складової швидкості по

радіусу центральної частини смерчу. Можна припустити, що при значній гравітаційній енергії, яка реалізується в смерчі, внутрішні втрати не можуть мати суттєвої ролі, і в математичних моделях ними можна нехтувати.

Грандіозний енергетичний масштаб такого явища природи, яким є смерч, підтверджується свідченнями очевидців та фото- і кінодокументами. По досягненню смерчем поверхні землі його енергія реалізується в неймовірні руйнування. За рахунок власної енергії відбувається руйнування і самого смерчу. Це є наслідком приєднання великих мас різних предметів, „втягнутих” в центральну частину смерчу. Значні приєднані маси атмосферного повітря можуть бути „вкинута” до смерчу за рахунок вітрового впливу. Коли смерч бере на себе великі зусилля, його газодинамічна структура руйнується.

Розглянуті основні механічні властивості реальних смерчів та найпростіші моделі цього природного явища підтверджують достатню складність та різноманітність впливу рухомого потоку повітря на перешкоди на своєму шляху. Побудова математичної моделі цього впливу на поверхні реальних споруд та конструкцій є важливою проблемою, яка потребує подальшого опрацювання.

1. *Наливкин Д.В.* Смерчи. М: Наука, 1984. 112 с.
2. *Хюбюк А.Ф.* Бури и смерчи // Природа. – 1957. – № 7 – С.21-27.
3. *Каплан Л.Г.* Локальные процессы в сплошной жидкой среде и атмосфере. Ставрополь, АСОК, 1993. 214 с.
4. СНиП 2.01.07-85 „Нагрузки и воздействия”, 1988.

Матеріал надійшов до редакції 24.09.04.