

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра будівництва та професійної освіти

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: **«Вологість повітря як фактор впливу на
будівельні конструкції»**

КРМ.192 БЦмд_21 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
«Технології будівельних конструкцій,
виробів і матеріалів» спеціальності
192 «Будівництво та цивільна інженерія»
ступеня вищої освіти магістр групи
192БЦмд_21
Черчович Віктор Олександрович
Керівник: Яхін С.В.

Полтава 2024 року

РОЗДІЛ 1	4
ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	4
1.1. Вплив вологості повітря на будівельні матеріали і конструкції	4
1.2. Методи і результати метеорологічних спостережень за вологістю повітря	11
1.3. Загальні методи статистичних досліджень і нормування впливів на будівельні конструкції та будівлі	11
1.4. Методи статистичного аналізу	16
1.4.1. Завдання статистичної обробки вибірки випадкової величини	16
1.4.2 Побудова гістограми розподілу випадкової величини	17
1.4.3 Визначення числових характеристик випадкової величини	19
1.4.4 Перевірка даних на належність до вибірки	19
1.4.5 Вибір типу закону розподілу і обчислення його параметрів	20
1.4.6. Перевірка узгодженості закону розподілу з дослідними даними	21
РОЗДІЛ 2	23
МЕТА РОБОТИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ	23
РОЗДІЛ 3	24
МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	24
3.1 Якісний аналіз структури процесу вологості повітря	25
3.2 Взаємні залежності статистичних характеристик	31
3.3 Сезонні та добові зміни вологості повітря	35
3.4 Обґрунтування виду закону розподілу вологості	39
3.5 Частотна структура процесу вологості повітря	44
3.6 Висновки щодо методики статистичної обробки даних по вологості повітря на території України	46
3.7 Формування бази метеорологічних даних з вологості повітря	47
РОЗДІЛ 4	59
ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ	59
4.1 Статистична обробка метеорологічних даних (результатів спостереження за вологістю повітря)	59
4.2 Узгальнення статистичних характеристик (функцій числових характеристик)	59
4.3 Територіальне районування України за статистичними характеристиками вологості повітря	63
РОЗДІЛ 5	68
АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	68
5 СОРБЦІЙНА ВОЛОГІСТЬ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	68
5.1. Експериментальне дослідження сорбційної вологості цегли	68
5.2. Залежність вологості цегли від вологості повітря	69
5.3. Приклад оцінки можливої вологості цегли	73
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ	77
РОЗДІЛ 7 ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	80

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1. Вплив вологості повітря на будівельні матеріали і конструкції.

Вологість повітря виявляє значний вплив на будівельні матеріали, а також на експлуатацію будь-якої будівлі чи споруди. Підвищена вологість повітря погіршує експлуатаційні якості конструкцій, зменшує строк їх придатності і негативно впливає на мікроклімат помешкання. Між будинком і оточуючим середовищем відбувається постійний обмін повітрям, а відповідно, і вологообмін. Згідно з [16] водяні пари, які знаходяться в повітрі, проникають в матеріали огороджуючих конструкцій, заповнюють вологою їх пори, внаслідок чого збільшується теплопровідність і погіршуються теплозахисні властивості огорожень. Теплопередача вологих стін, які будовані із гігроскопічних матеріалів, може бути в 1,2-2 рази більшою, ніж передбачалося будівельними нормами.

Згідно з [25] вологісний режим приміщень будинків і споруд в зимовий період в залежності від відносної вологості і температури внутрішнього повітря слід встановлювати по таблиці 1 [25]. Зони вологості слід приймати по додатку 1* [25]. Умови експлуатації огороджуючих конструкцій в залежності від вологісного режиму приміщення і зон вологості району будівництва слід встановлювати по додатку 2 [25].

При зміні морозної погоди відлигою водні пари конденсуються на різних поверхнях стін будинків, бо вони виявляються холоднішими зовнішнього повітря. При цьому в ряді випадків на облицювальній частині будинку утворюється іній, який свідчить про контакт огороження з теплим вологим повітрям [16]. Це може прискорити руйнування стін, якщо при проектуванні будівлі не передбачена гідроізоляція.

Морозостійкість бетону (а також цегли, черепиці і т. п.) являється одним із факторів надійності будівельних конструкцій в частковості їх довговічності [5]. Правда, поверхнєве руйнування матеріалу відбувається поступово, у більшості випадків наглядно і не може призвести до раптового обвалення.

Водонепроникність бетону являється однією із найважливіших характеристик, які визначають його морозостійкість і в цілому довговічність в різних умовах [7]. Морозостійкість вологих стін значно нижча, ніж сухих. Сухі стіни довше зберігаються прилюбій температурі. Вологі, навіть кам'яні, стіни в сурові зими швидко руйнуються. Щоб визначити можливий вплив вільної води, в [8] вивчалися два внутрішніх стани вологості: повністю насичені і повністю висушені зразки. Сухі екземпляри були висушені в сушильній шафі з поступовим підвищенням температури до 105°C. Було замічено суттєве підвищення межі міцності на розтяг вологого мікробетону з підвищенням межі деформації.



Рис. 1. Міцність на розтяг як функція рівня деформації: (+) вологий, (0) сухий.

На рисунку можна побачити різке збільшення межі міцності на розтяг при більш високих рівнях деформації вологих екземплярів і незатронуті в сухих. Очевидно, модуль Юнга вологих екземплярів більше, ніж у сухих екземплярів. Крива на рисунку з [8] показує більш прогресивне збільшення міцності з рівнем деформації вологих екземплярів.

За [8] можна відмітити, що міцність сухих екземплярів складає від половини до треті міцності вологих екземплярів і немає ніякого впливу рівня деформації на міцність.

Однак, як відомо, сухий бетон показує звичайно більш високу (до 20%) міцність, ніж вологий бетон. Два фактора можуть впливати на такий результат:

більш висока ступінь гідратації вологих екземплярів (до 0,73%) і руйнівний ефект висихання до 105 °С.

Ефект більшої гідратації, пошкодження від висихування і вологості в бетоні – все це разом веде до різниці в міцності, яка визначається як з [8]

$$\frac{f_{wet}}{f_{dry}} = \frac{1,3}{1,2 \times 0,7} = 1,55$$

Значить рівень деформації впливувача вологі зразки набагато більше, ніж на сухі. Це призводить до висновку, що вода усередині бетону впливає на закупорювання тріщин, яке виявляється при високому рівні деформації.

При випробувальному циклу, який був описаний в [8], отримані результати щодо статичного одностороннього розтягу вологого і сухого бетону. Отже, для вологого мікробетону статичний модуль Юнга менше динамічного. В сухому мікробетоні відношення $\frac{\sigma_{dyn}}{\sigma_{stat}} = 1,6$, а для вологого мікробетону це відношення дорівнює 4,1. Це підтверджує вплив вільної води на динамічну поведінку мікробетону. Існує значний ефект різниці деформації на міцність на розтяг вологого бетону.

В атмосфері завжди існує волога пара, але її конденсація відбувається при наявності відповідних сполучень температури і вологості повітря. Інакше кажучи, конденсація настає тоді, коли температура повітря досягне точки роси (t_p).

Для визначення вологості режиму використовують відомі в метеорології показники. Один з них – абсолютна вологість (кількість вологи в грамах, яка міститься в 1 м³ повітря). Кількість вологи, яка міститься в 1 кг повітря, називають питомою вологістю. Використовують також показник вологості, який називають пружністю водяної пари (e) і виражають в мілібарах або міліметрах ртутного стовпчика. При заданій температурі повітря максимальна пружність водяної пари (E мм) близька до максимальної абсолютної вологості повітря (в г/м³).

Ступінь насичення повітря водяною парою характеризується відносною вологістю. Зі зниженням температури повітря його відносна вологість підвищується. Якщо внутрішня поверхня огороження, охолоджуючись, досягне температури нижче точки роси, то волога, яка є в повітрі приміщення, конденсується і осідає на холодну поверхню. Матеріал огороження буде всмоктувати цю вологу.

Вологість бетону має додатковий вплив на його показники якості, такі як міцність, розвиток деформацій усадки при висиханні і набухання при зволоженні, модуль пружності, розвиток деформацій повзучості і показники теплопровідності. При цьому, якщо зміни показників міцності бетону в основному мають вплив на стійкість несучої здатності (міцності) і стійкості конструкцій, то розвиток деформації усадки, повзучості і модуля пружності визначають комплексний вплив як на показники міцності, так і на розвиток деформації конструкції, а зміни показників теплопровідності являється визначаючим фактором термічного опору теплопередачі в охолоджуючі конструкціях [6].

Якщо виходити з того, що при зволоженні бетону з однієї або декількох поверхнею перерізу елемента в ньому повинні виникнути напруження за рахунок нерівномірного зволоження розвиток деформацій набухання, то його міцність повинна зменшуватися на значення $\Delta\sigma_{sr}(t, h)$. При цьому значення міцності в зволоженому бетоні від початкового R_{bo} при певній рівноважній вологості повинно дорівнювати

$$R_b(t, h) = R_{bo} - \Delta\sigma_{sr}(t, h)$$

Значення $\Delta\sigma_{sr}(t, h)$ в залежності від некомпенсованої деформації набухання бетону з урахуванням повзучості бетону можна представити у вигляді

$$\Delta\sigma_{sr}(t, h) = \varepsilon_w(t, h) \times E_b(t) \times H^*(t, r)$$

де $H^*(t, r)$ - коефіцієнт релаксації напружень за рахунок повзучості бетону.

При цьому $\varepsilon_w(t, h)$ - деформації набухання бетону при його зволоженні описуються у вигляді

$$\varepsilon_w(t, h) = \varepsilon_{HO} [1 - e^{-w(t, h)}],$$

де ε_{HO} - деформації набухання, як правило, які приймаються рівними 0,7 від розрахункового значення деформації усадки бетону до часу t .

$w(t, h)$ - значення вологості бетону при його зволоженні, яке розподіляється по висоті перерізу, досить тяжко визначається.

Експериментальні роботи, які були проведені автором статті в [6] і іншими дослідниками, показали, що міцність бетону при впливі на нього надлишкової вологи спочатку знижується, виходячи із поняття “адсорбційного пониження міцності”, яке досягає за 3 доби 30% початкового показника міцності. При довгостроковому зволоженні показник міцності на стиск відновлюється до початкового і навіть перевищує його на 20 - 25% за рахунок двох процесів: зникнення адсорбційного впливу в дефектах структури бетону і подальшого процесу гідратації цементу в дефектах його структури [6].



Рис. 1.2. Відносні зміни міцності бетону на стиск R_0 (1) і його модуля пружності E_{br}/E_{br0} при довгочасному зволоженні (2).

На рис. 1.2. показані діаграми зміни показників міцності і модуля пружності бетону при його довгостроковому зволоженні в стаціонарних температурних умовах.

Модуль пружності бетону (одна з деформативних характеристик) залежить від вологості бетону також неоднозначно, т. я. при формуванні структури бетону

і розвитку усадкових напружень по перерізу зразка або елемента утворюють дефекти структури.

Концентрація води в дефектах призводить до розклинювальної дії, а її накопичення – до заповнення дефектів і взаємного деформування структурних елементів.



Рис. 1.3. Значення модуля пружності бетону в залежності від модуля відкритої поверхні m, M^{-1} (а) і зміни вологості W_t (б) W_0 – рівноважна вологість бетону; W_{sc} – вологість бетону при його повному водонасиченні.

На рисунку 1.3. а показаний взаємозв'язок впливу масштабного фактору зі значеннями модуля пружності. При цьому ці показники поладають в загальну вибірку статистичного розкиду при оцінці модуля пружності бетону. Що стосується впливу вмісту води в бетоні, то значення яке визначається E_{bo} в умовах рівноважної вологості змінюється в межах 15 - 20% для інтенсивно висушених бетонів і повністю водонасичених.

На рисунку 1.3. б показана загальна картина змін модуля пружності бетону від його вологості. При цьому характер змін цього показника показаний на рисунку 1.2.

Питання про вплив зволоження бетону на розвиток деформації навантажених конструкцій розглядався в реальних дослідках, проведених Е.А.Гузевим і И.Е.Прокоповичем. Ці дослідки показали, що спостерігається збільшення прогинів зволжених елементів до 60% по відношенню до

деформацій конструкцій при відсутності взаємодії води в сусідній зоні бетону. При цьому має місце скачкоподібне наростання кривизни з послідуєчим інтенсивним затуханням росту деформації.

Розвиток деформації повзучості бетону при нестационарних вологостних впливах дуже неоднозначно.

Відомо, що повзучість бетону в водонасиченому стані мала порівнянню з висихаючим бетоном. В роботі [18] було показано суттєве збільшення повзучості бетону при умовах спочатку гідроізолюваного, а потім підданого випаровуванню вологи із бетону. Досліди автора по визначенню деформації повзучості висихаючого бетону, а потім підвергнутого водонасиченню його під навантаженням показали наявність аномального скачкоподібного зростання не пружних деформацій повзучості з послідуєчим досить інтенсивним затуханням деформацій його повзучості при повному водонасиченні. При цьому багаторазні зміни вологості бетону під навантаженням (висихання – зволоження – висихання) призводило до достатньо швидкої стабілізації росту деформації повзучості уже на четвертому циклі прийнятого режиму впливу.

Подібне явище обумовлено процесами адсорбційного погіршення міцності, зміною модуля пружності бетону в водонасиченому стані.

Стан вологості теплоізоляційних матеріалів суттєво впливає на їх показник теплопровідності. Так, якщо теплопровідність сухого матеріалу прийняти за базове значення, то зростання вологості передбачає збільшення показника теплопровідності.

Для практичних розрахунків можна сказати, що збільшення вагової вологи на 1% призводить до збільшення показника теплопровідності на 4%.

Таким чином, вологість матеріалу, в тому числі при її дозозброковій дії в надлишковому стані, здійснює вплив на показники міцності бетону або теплоізоляції, що повинно враховуватися при розрахунку окремо відповідальних конструкцій.

1.2. Методи і результати метеорологічних спостережень за вологістю повітря.

На території України працюють близько 200 метеостанцій, що належать до системи Держкомгідромету і ведуть восьмистрокове спостереження за вологістю повітря. Розміщення по території досить рівномірне; відстань між найближчими пунктами спостережень складає 30-60 км, згідно з [19]. Дані різних метеостанцій характеризуються різною точністю і достовірністю внаслідок особливостей розміщення та роботи станцій, різних строків спостережень, а також необхідності відновлення деяких даних непрямыми методами [19].

Результати спостережень за відносною вологістю повітря опубліковані в довіднику по клімату [30], який містить дані спостережень за строк від 1930 до 1964 року, а для деяких метеостанцій навіть з 1886 року. В довіднику по клімату [30] опубліковані дані середньої місячної і річної відносної вологості повітря в різні години доби, повторюваність відносної вологості повітря в 13 годин, число днів з відносною вологістю 30% і 80%, добовий хід відносної вологості повітря і ін.

Одна з метеостанцій є в Полтаві. На цій метеостанції ведуться спостереження не тільки за вологістю повітря, а і за температурою повітря, швидкістю вітру, снігом. Для статистичної обробки даних по вологості повітря за допомогою цієї станції було отримано результати за три роки (2019-2021), які складають 8760 значень відносної вологості повітря, а також за 5 місяців, з січня до травня. Вологість повітря на метеостанції Полтава міряють гігрометром, який показує відсоток вологості.

1.3. Загальні методи статистичних досліджень і нормування впливів на будівельні конструкції та будівлі.

Ще в 1961 році Н.С.Стрелецький, складаючи перелік найбільш актуальних напрямів досліджень, на перше місце поставив статистичне вивчення навантажень. Питання визначення розрахункових значень випадкових навантажень і зараз займають особливе місце в теорії надійності будівельних конструкцій, тому що саме вони зв'язують її з загальноприйнятим методом

розрахунку будівельних конструкцій за граничними станами. Під нормуванням навантажень слід розуміти цілий комплекс досліджень, що відповідно до визначення [22], містить у собі вибір і систематизацію статистичних даних, вибір імовірнісної моделі навантаження і визначення її параметрів на основі статистичної обробки цих даних, обчислення розрахункових значень навантаження методами теорії надійності, узагальнення отриманих результатів і розробку нормативних положень, що забезпечують досить точну, однозначну і максимально просту процедуру визначення зовнішніх навантажень при розрахунках будівельних конструкцій.

Початок методології нормування навантажень на основі глибокого вивчення їх імовірнісної природи закладені в роботах Г.А.Бать, В.В.Болотина [11], Л.А.Гвоздева, В.А.Отсвітлова, А.П.Буличева, Ю.Д.Сухова [31], у яких обліковані загальні процедури нормування, розроблені конкретні методи й отримані практично важливі результати для окремих видів навантажень. Однак у більшості цих робіт використовувалися спрощені імовірнісні моделі, які не враховували повною мірою всі особливості реальних процесів навантаження. У подальших дослідженнях А.Я.Барачикова [3], В.А.Палинського [22], М.В.Сидоренко, удосконалюються математичні методи нормування навантажень на основі застосування імовірнісних моделей випадкових процесів і полів, а також послідовностей їхніх максимальних значень. Такий підхід у сполученні з ретельним порівняльним аналізом імовірнісних моделей навантажень і формуванням великих банків статистичних даних дозволив не тільки створити загальну методологію нормування навантажень на будівельні конструкції, але й одержати важливі результати, що можуть впроваджуватися і впроваджуються в практику проектування.

У результаті великих досліджень імовірної природи навантажень у роботі [22] і в проєкті Державних будівельних норм України запропонована нова класифікація навантажень і впливів на будівельні конструкції і відповідні приписи їхнього нормування. Навантаження можуть мати до чотирьох розрахункових значень:

– експлуатаційне розрахункове значення характеризує умови нормальної експлуатації конструкції, використовується в розрахунках по граничним станам другої групи і визначається в залежності від частки терміну експлуатації конструкції, протягом якої ризику може перевищуватися;

– граничне розрахункове значення відображає екстремальні умови експлуатації, може використовуватися при перевірці граничних станів першої і другої групи і визначається таким чином, щоб воно могло перевищуватися не більш одного разу протягом терміну експлуатації конструкції;

– циклічне розрахункове значення використовується в розрахунках витривалості і визначається як гармонічний процес, еквівалентний по ушкоджуючому впливові реальному випадковому процесу завантаження;

– квазіпостійне розрахункове значення використовується при врахуванні пробагічних процесів типу повзучості і визначається як постійний рівень навантаження, еквівалентний за впливом реальному випадковому процесу завантаження.

Несучі конструкції можуть сприймати прямі механічні впливи і впливи немеханічної природи. В залежності від властивостей навантажень і реакції конструкції, навантаження і впливи поділяються на основні й аварійні, постійні і змінні, фіксовані, вільні і комбіновані, статичні і динамічні. Постійними вважаються навантаження, що діють протягом усього терміну експлуатації об'єкта і значення яких практично не змінюються в часі. Для таких навантажень досить визначити два розрахункових значення: експлуатаційне і граничне. У залежності від тривалості безупинної дії на конструкцію, змінні навантаження поділяються на тривалі, повторні і епізодичні. Для тривалих навантажень, тривалість безупинної дії яких в порівнянні з терміном експлуатації конструкції, встановлюються три розрахункових значення: експлуатаційне, граничне і квазіпостійне. Для повторних навантажень, час безперервної дії яких значно менше терміну експлуатації конструкції, встановлюються всі чотири типи розрахункових значень. Епізодичні навантаження реалізуються усього кілька разів (можливо навіть один раз) за термін експлуатації конструкції, діють

протягом невеликого періоду часу і характеризуються одним граничним розрахунковим значенням.

Розрахункові значення навантажень всіх видів визначаються методами теорії надійності, виходячи з заданої імовірності їхньої реалізації або інших імовірнісних характеристик. Для цього необхідно виконати ряд операцій, позначених у роботах Мещинського В.А. [22], [20], і Перельмутера А.Б. терміном “нормування навантажень”:

- зібрати досить великий обсяг статистичних даних про фактично реалізовані значення навантаження;
- на основі статистичного аналізу даних обрати імовірнісну модель, що досить точно відбиває основні властивості даного навантаження;
- обґрунтувати можливість застосування обраної імовірнісної моделі і визначити необхідні параметри шляхом обробки наявних даних;
- обчислити необхідні розрахункові значення навантаження з використанням обґрунтованої імовірнісної моделі;
- виконати узагальнення отриманих розрахункових значень і розробити пропозиції по нормуванню досліджуваного навантаження.

Особливо важливе місце при нормуванні навантажень займає вибір і обґрунтування адекватної імовірнісної моделі процесу завантаження. У дослідженнях [22], [24], [29] показано, що вид використаної імовірнісної моделі може вплинути на результати нормування. Прості імовірнісні моделі, засновані на схемі незалежних досліджень, не повною мірою відображають характерні властивості процесів завантаження, а більш складні моделі типу випадкових процесів і поліів вимагають занадто великого обсягу статистичних даних для визначення їхніх параметрів. У дослідженнях Перельмутера А.Б. доведено, що в умовах недостатньої інформації застосування більш точних імовірнісних моделей може привести до збільшення погрешностей обчислення розрахункових значень навантажень.

Виходячи з фізичної природи і можливостей імовірнісного опису, навантаження можна розділити на три групи:

- навантаження, які представляють собою незмінні в часі випадкові величини (навантаження від власної маси конструкцій і т.п.);
- навантаження, які представляють собою випадкові функції часу (наприклад, тиск речовини, яку зберігають в резервуарах, газгольдерах або бункерах);
- навантаження, які представляють собою випадкові функції часу і координат (атмосферні й інші подібні навантаження).

Перелік імовірних моделей, що можуть використовуватися при нормуванні навантажень, наведений у роботах Перельмутера А.В., також [22], [24], а дослідження [24] містять результати досить докладних порівняльних аналізів цих моделей. У цих роботах показано, що конкретна імовірнісна модель для нормування кожного навантаження повинна вибиратися з урахуванням фізичної природи, характеру і конкретних особливостей процесу завантаження, характеру й обсягу доступної статистичної інформації, трудомісткості процедури нормування і точності оцінювання розрахункових значень навантажень.

Заключним етапом нормування навантажень є розробка нормативних положень на підставі узагальнення отриманих результатів. Стосовно до атмосферних навантажень традиційно розробляються карти територіального районування по основних розрахункових параметрах, наприклад, з нормативним значенням навантажень. У роботах Перельмутера А.В. і [24] показано, що територіальне районування ДБН [23] є занадто грубим.

Питання методики територіального районування кліматичних факторів розглядалися в роботах Перельмутера А.В. і [19] та інших. Довільно простий, реально застосовний і разом з тим математично обґрунтований метод територіального районування запропонований у роботах [24], [19]. Особливістю цього методу є згладжування даних окремих метеостанцій, що дозволяє нівелювати випадкові похибки, обґрунтований вибір кроку градації районів і можливість управління запасами районування.

До числа перших спроб імовірного представлення атмосферних навантажень для уточнення значень коефіцієнтів надійності методу розрахунку за граничними станами відносяться роботи Н.С.Стрелецького.

У відомих роботах В.В.Болотіна [9], [10] для імовірного описання навантажень пропонується використання математичних моделей у вигляді стаціонарних випадкових процесів, що підпорядковуються нормальному закону розподілу. Такий підхід є досить простим, тому що при врахуванні спільної дії навантажень лінійна комбінація нормальних стаціонарних процесів цих навантажень також є нормальним стаціонарним процесом, характеристики якого можна одержати через характеристики вихідних процесів. Недоліком такого підходу є те, що не завжди короточасні навантаження можуть бути представлені у вигляді нормальних стаціонарних процесів. Результати досліджень виконаних у [11], [19], [20] [21] свідчать, що розподіл атмосферних навантажень значно відрізняються від нормальних.

Для виключення складних обчислювальних процедур при врахуванні спільної дії навантажень, представлених у формі випадкових процесів, А.Р.Ржаніцин запропонував розглядати атмосферні навантаження у вигляді розріджених у часі послідовностей прямокутних імпульсів з випадковими параметрами. Такий підхід не вимагає визначення кореляційних функцій навантажень, що недостатньо вивчені, і дозволяє перейти від операцій з випадковими процесами до операцій з випадковими величинами, що значно спрощує розрахунки.

1.4. Методи статистичного аналізу.

1.4.1. Завдання статистичної обробки вибірки випадкової величини

Предметом статистичного аналізу є вибірка значень випадкової величини, яка отримана в результаті якихось спостережень. Нижче обов'язкової вибірки позначено через N , а кожен її елемент (отримане в результаті окремого вимірювання значення випадкової величини) – через X_i . Часом доводиться працювати з узагальненими даними, поданими у вигляді гістограми розподілу. Тоді кількість інтервалів гістограми будемо позначати через L , межі інтервалів – через C_j , їх

середини – X_j , а імовірності попадання до кожного інтервалу – P_j . Аналогічно можуть бути подані результати спостережень за дискретною випадковою величиною: L можливих значень X_j з їх кількостями N_j чи імовірностями реалізації P_j .

Кінцева мета статистичної обробки звичайно полягає в отриманні закону розподілу випадкової величини за наявними дослідними даними. Типова методика статистичної обробки вибірки випадкової величини детально викладена нижче. Як правило, обробка вибірки зводиться до наступної послідовності операцій:

- побудова гістограми розподілу;
- обчислення статистичних характеристик;
- перевірка окремих даних на належність до вибірки,
- вибір виду апроксимуючого розподілу і визначення його параметрів,
- перевірка узгодженості обраного розподілу з дослідними даними.

1.4.2 Побудова гістограми розподілу випадкової величини

Гістограма розподілу вибірки є статистичним еквівалентом закону розподілу випадкової величини. Побудова гістограми розподілу розпочинається з визначення розмаху вибірки, як інтервалу між найменшим X_{\min} і найбільшим X_{\max} зі спостережених значень. Отримана таким чином область визначення випадкової величини розбивається на інтервали, кількість яких L обирається залежно від обсягу вибірки N за рекомендацією таблиці 1.1

Таблиця 1.1

Рекомендована кількість інтервалів у гістограмі розподілу

Межі інтервалів C_j , $j=0, \dots, L$ встановлюються, виходячи з довжини інтервалу, обчисленої за формулою

$$d = (X_{\max} - X_{\min}) / L, \quad (1.1)$$

та округленою до значення, зручного для подальшого використання. Нижня межа першого інтервалу C_0 округлюється в менший бік, а верхня межа останнього C_L - в більший. Округлення довжини інтервалу d може привести до коригування їх кількості L .

Побудова гістограм розподілу зводиться до підрахунку кількостей даних N_j , які належать до кожного з обраних інтервалів. Це робиться шляхом перегляду вибірки вручну чи за допомогою комп'ютера. Елементи вибірки, рівні межах інтервалів, відносять до більшого чи до меншого інтервалу залежно від смислу задачі (як правило - в запас). Крайні інтервали, які містять мало даних, рекомендується об'єднати. Довжина об'єданого інтервалу дорівнює сумі довжин, а кількість даних - сумі кількостей даних для інтервалів, що об'єднуються. Рекомендується, щоб у кожному інтервалі було не менше 3 - 5 даних. Об'єднання інтервалів приводить до згладжування гістограми розподілу і таким чином дозволяє відмежуватися від випадкових коливань частот при невеликих обсягах вибірок.

Імовірності попадання до кожного з інтервалів (частота даних) P_j визначають діленням відповідних кількостей даних N_j на обсяг вибірки N :

$$P_j = N_j / N. \quad (1.2)$$

Густина імовірності в кожному інтервалі є результатом ділення частоти P_j на довжину даного інтервалу $d_j = C_j - C_{j-1}$:

$$f_j = P_j / d_j = P_j / (C_j - C_{j-1}). \quad (1.3)$$

При цьому слід пам'ятати, що різні інтервали можуть мати різну довжину.

Наочніс виявити характер розподілу дозволяє графічне зображення гістограми, на якому вздовж осі абсцис відкладаються кінці інтервалів C_j , тобто значення самої випадкової величини, а вздовж осі ординат - обчислені за формулою значення густини імовірності f_j .

1.4.3 Визначення числових характеристик випадкової величини

Наступним етапом статистичної обробки є обчислення статистичних характеристик вибірки, до яких відносяться оцінки математичного сподівання M , стандарту S і коефіцієнта варіації V :

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i ; \quad (1.4)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - M)^2} ; \quad (1.5)$$

$$V = S/M , \quad (1.6)$$

де X_i - елемент вибірки обсягу N .

При обробці узагальнених даних, поданих у вигляді гістограм і розподілу, оцінки математичного сподівання та стандарту обчислюються за формулами

$$M = \sum_{j=1}^L P_j X_j ; \quad (1.7)$$

$$S = \sqrt{\sum_{j=1}^L P_j (X_j - M)^2} ; \quad (1.8)$$

де P_j - частота j -того інтервалу;

$X_j = (C_j - C_{j-1})/2$ - середина j -того інтервалу.

1.4.4 Перевірка даних на належність до вибірки

В результаті вимірювань чи спостережень до вибірки випадкової величини можуть бути включені дані, які не належать до досліджуваної генеральної сукупності, або навіть являються помилковими даними. Такі дані різко виділяються з вибірки

в менший чи в більший бік, а на гістограмі розподілу утворюють інтервали, відірвані від основної маси даних.

Описані в літературі статистичні критерії для перевірки окремих елементів на належність до вибірки розроблені в основному для нормального розподілу вибірки. При аналізі випадкових величин з розподілами, близькими до нормального, можна скористатися наближеною формулою. Нехай екстремальний елемент вибірки X_e підозрюється в помилковості. За відомими оцінками математичного сподівання M і стандарту S вибірки обсягу N обчислюється імовірність того, що елемент X_e належить до вибірки:

$$\alpha \approx N \left[1 - F \left(\frac{X_e - M}{S} \sqrt{\frac{N}{N-1}} \right) \right], \quad (1.9)$$

де $F(x)$ – функція нормального розподілу для аргументу, наведеного в дужках.

1.4.5 Вибір типу закону розподілу і обчислення його параметрів

Отримані вище числові характеристики та гістограма розподілу вибірки дозволяють описати дослідні дані теоретичним законом розподілу. Для цього необхідно вибрати його вид і визначити параметри. Вид закону розподілу обирається, виходячи з наступних міркувань:

- фізичне обґрунтування (наприклад, нормальний розподіл є результатом впливу багатьох випадкових факторів, розподіл Гумбеля описує максимальні значення випадкових величин);
- співвідношення числових характеристик (наприклад, для експоненціального розподілу M і S , для розподілу Гумбеля $A=1,14$ і $E=2,4$);
- відповідність форми густини теоретичного розподілу до дослідної гістограми.

Вид теоретичного розподілу досільно обирати, виходячи з фізичного обґрунтування досліджуваного явища. При неможливості такого рішення теоретичний розподіл обирається за зовнішнім виглядом дослідної гістограми.

Співвідношення числових характеристик звичайно слугує додатковим свідченням придатності обраного розподілу.

Якщо формі гістограми відповідають декілька теоретичних розподілів, слід проаналізувати їх з урахуванням співвідношення числових характеристик, природи досліджуваного явища, узгодженості з дослідними даними, а також зручності подальшого використання. У сумнівних випадках можна описувати одну і ту ж випадкову величину двома різними теоретичними розподілами. Подальші обчислення розрахункових значень досліджуваного параметра чи ймовірностей відноду за ці значення виконуються паралельно з використанням обох розподілів. При близьких результатах обчислень остаточні значення приймаються “в запас” з інженерної точки зору. Значна розбіжність результатів свідчить про неадекватність прийнятої ймовірнісної моделі.

Параметри обраного закону розподілу найчастіше визначаються за методом моментів, який забезпечує рівність статистичних моментів теоретичного розподілу до відповідних моментів вибірки. Фактично прирівнюється певний набір числових характеристик, кількість яких залежить від виду теоретичного розподілу. Наприклад, єдиний параметр експоненціального розподілу визначається через математичне сподівання чи стандарт вибірки; для інших розподілів забезпечується рівність математичних сподівань, стандартів та коефіцієнтів варіації до відповідних вибіркових оцінок.

1.4.6. Перевірка узгодженості закону розподілу з дослідними даними

Остаточне рішення щодо можливості застосування обраного закону розподілу приймається за результатами перевірки його узгодженості з дослідними даними за спеціальними статистичними критеріями. Найпоширенішим критерієм узгодженості є критерій Пірсона. Згідно з вказівками, статистика критерію Пірсона обчислюється за формулою

$$\chi^2 = N \sum_{j=1}^k \frac{(P_j - P_{jt})^2}{P_{jt}}, \quad (1.10)$$

де N - обсяг вибірки, за якою збудована гістограма розподілу,

P_j - емпірична частота j -того інтервалу, тобто визначена за гістограмою розподілу імовірність попадання випадкової величини до цього інтервалу;

$P_{jt} = F(C_j) - F(C_{j-1})$ - теоретична частота j -того інтервалу, тобто визначена за обраним теоретичним законом розподілу імовірність попадання випадкової величини до цього інтервалу

Обчислене за формулою вибіркове значення статистики порівнюється з критичним значенням χ_{cr}^2 , визначеним за таблицями розподілу Пірсона. Критичне значення залежить від двох параметрів: рівня значимості α та кількості ступенів свободи k . Якщо $\chi^2 \leq \chi_{cr}^2$, обраний закон розподілу не суперечить дослідним даним і його можна використовувати для імовірнісного опису досліджуваної випадкової величини. При $\chi^2 > \chi_{cr}^2$ для апроксимації дослідних даних слід обрати закон розподілу іншого виду.

Кількість ступенів свободи k дорівнює кількості інтервалів в гістограмі розподілу L , зменшеній на кількість параметрів обраного теоретичного закону розподілу і ще на одиницю. Для експоненціального розподілу $k=L-2$. Рівень значимості задає імовірність відкидання правильної гіпотези (визначення невідповідним теоретичного розподілу, який на самому ділі узгоджується з дослідними даними). Як правило, в статистичних дослідженнях приймають рівень значимості в межах від 0,01 до 0,1; найчастіше - $\alpha=0,05$.

1.5. Висновки з розділу

1. Вологість повітря виявляє значний вплив на будівельні матеріали, а також на експлуатацію будь-якої будівлі чи споруди. Вологість повітря впливає на морозостійкість і міцність бетону, на швидкість набору міцності, на збільшення прогинів зволжених елементів при навантаженні конструкцій і на збільшення показника теплопровідності.

2. Існуюча мережа метеорологічних станцій і постів забезпечує великий обсяг даних.
3. Імовірнісне подання вологості повітря у роботі, значне для аналізу впливу на будівельні конструкції, не виконувалося.

РОЗДІЛ 2

МЕТА РОБОТИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Мета роботи: Дослідити вплив вологості повітря на фізико-механічні властивості будівельних конструкцій та розробити рекомендації для

підвищення їх довговічності й експлуатаційної надійності в умовах змінного вологості середовища.

Вивчення структури процесу зміни вологості повітря та його імовірнісному поданні для території України.

Задачі, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети

- отримати результати спостережень за вологістю повітря з довідників та на метеостанції і сформувати електронний банк метеорологічних даних по вологості повітря на території України;
- проаналізувати структуру процесу зміни вологості повітря, розробити адекватну імовірнісну модель для його подання та відповідну методикою визначення статистичних характеристик цієї моделі за наявними метеорологічними даними;
- отримати статистичні характеристики вологості повітря на території України, виконати їх узагальнення та територіальне районування;
- дослідити можливість прогнозування сорбційної вологості нових матеріалів за характеристиками вологості атмосферного повітря.

Предмет дослідження:

Процеси зміни фізико-механічних властивостей будівельних матеріалів і конструкцій під впливом вологості повітря та фактори, що визначають їх довговічність і надійність (вологість, міцність).

Об'єкт дослідження:

Стінові конструкції з силікатної цегли, що експлуатуються в умовах змінної вологості повітря.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

СТРУКТУРА ТА ІМОВІРНІСНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВОЛОГІСТІ ПОВІТРЯ.

3.1 Якісний аналіз структури процесу вологості повітря

Для попереднього якісного аналізу використані реалізації, складені з результатів восьмистрокових вимірювань відносної вологості повітря на метеостанції Полтава на протязі 2019–2021 років. Реалізації за 2019 та 2021 роки складаються з 2920 даних, а за високосний 2020 рік - 2928 ординат. Вони містять вичерпну інформацію про усі компоненти та особливості процесу зміни вологості повітря протягом трьох вказаних років.





в) з0зтрг

г) середньодобові значення за 2019 рік

Рис. 3.1. Реалізації випадкового процесу вологості повітря на метеостанції Полтава

На графіках рисунка 3.1а, б, в наведені реалізації випадкового процесу вологості повітря за 2019, 2020 і 2021 роки. З рисунків видно, що загальний характер змін вологості повітря залишається незмінним для усіх трьох років. Середня вологість в зимові місяці змінюється від 83% до 87%, а в літні – близько 65%. Також в літній період спостерігається більший розмах вологості, ніж в зимовий. Стабільність сезонних змін характеристик вологості повітря дозволяє вважати їх функціями часу, які циклічно повторюються з року в рік.

На рисунку 2.2г зображена реалізація процесу середньодобової вологості повітря у 2019 році. Судячи з розмахів графіка, стандарти випадкового процесу

середньодобової вологості повітря в зимові місяці повинні бути меншими, ніж у літні. Аналіз рисунка 2.2г не дозволяє виявити певної циклічності чи інших закономірностей у міждобовій змінливості вологості повітря. Отже, процес зміни середньодобової вологості повітря слід вважати випадковим.





Рис. 3.2. Реалізації випадкового процесу вологості повітря за результатами строкових вимірювань на межостанції Полтава

Відображення реалізації в межах одного місяця, наведені на рисунку 3.2 для чотирьох місяців 2019 року, дозволяє виявити характер добових змін вологості повітря. З рисунків видно, що для квітня, липня і першої половини жовтня характерні чітко виражені добові зміни вологості повітря. Період змін вологості чітко відповідає одній добі; амплітуду слід вважати випадковою. В зимовий період (січень та друга половина жовтня) добова мінливість вологості виражена слабкіше, що виражається в зменшенні амплітуд і порушеннях добової циклічності. З наведених графіків видно, що процес добової мінливості вологості повітря має випадкову амплітуду і практично детермінований період, рівний одній добі.

Таким чином, виконавши аналіз показує, що процес вологості повітря має три характерних періоди зміни:

- сезонні зміни (річний хід вологості повітря), які мають досить закономірний циклічний характер;
- випадкові зміни вологості з періодом в декілька діб;
- добові коливання (добовий хід вологості повітря), характер яких близький до циклічного з періодом в одну добу.

--	--	--	--	--	--

З таблиці видно, що міжрічні коливання характеристик вологості повітря мають місце, але їх можна вважати незначними порівняно з коливанням вологості протягом року. Так наприклад, середньорічні вологості відрізняються не більше, ніж на 3.5%, а зміна середньомісячних вологостей протягом року досягає 33%.. Незначні міжрічні зміни стандартів дозволяють осереднити їх, що й зроблено в останній колонці таблиці 3.1.

Для зручності подальшого порівняльного аналізу осереднені за трьома роками значення стандартів зведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 Стандарти осереднених характеристик вологості повітря

З таблиці видно, що стандарти зменшуються в міру осереднення даних. Якщо стандарт строкових вимірювань відносно середньорічної вологості дорівнює $S_1=18,7\%$, то стандарт середньодобових значень $S_2=15,31\%$, а середньомісячних $S_3=10,81\%$. Однак усі стандарти отримані одного порядку, що свідчить про рівну значимість усіх виявлених вище компонентів мінливості вологості повітря. Так наприклад $S_3=10,81\%$ свідчить про значну сезонну мінливість середньомісячних вологостей, а $S_1=18,7\%$ - про такого ж порядку добову мінливість. Отже, ні однією з компонент мінливості не можна знехтувати. Імовірна модель вологості повітря повинна враховувати усі три періоди її зміни: сезонний хід, випадкові міждобові коливання і добовий хід вологості.

3.2 Взаємні залежності статистичних характеристик

Наявні метеорологічні дані довідника по клімату [30] в основному містять різного виду середні значення вологості повітря на метеостанціях України. Розподіли вологості за градаціями (гістограми), які дозволяють визначити стандарти чи коефіцієнти варіації, наведені лише для одного строку спостережень о 13 годні. Такий характер метеорологічної інформації спонукає до пошуку залежностей, за якими можна було б встановити характеристики мінливості спостережень для інших строків через наявні середні значення.

Аналіз взаємної залежності статистичних характеристик виконано з використанням результатів строківих вимірювань на метеостанції Полтава протягом 2019-2021 років. Для цього сформовані листи в Excel, які названі M_S_V_2019, M_S_V_2020, M_S_V_2021. Кожен лист в залежності від року містить в собі дані восьмистрокових спостережень на метеостанції Полтава. Також з правої сторони підраховано середнє значення, стандартне відхилення і коефіцієнт варіації для кожного місяця, а також коефіцієнт кореляції. На слідує чому листі M_S_V в трьох таблицях приведені середнє значення, стандартне відхилення і коефіцієнт варіації для трьох років 2019-2021, також підраховане добове відхилення по кожному місяцю і за рік.

Потім побудовані графіки залежностей стандартів S і коефіцієнтів варіації V від математичних сподівань M відповідних місячних вибірок для кожного зі строків спостережень. Таким чином проаналізовані зв'язки між числовими характеристиками розподілів результатів вимірювань вологості в певні строки кожного з місяців.





Рис. 3.3. Залежності стандарту і коефіцієнта варіації від математичного сподівання вологості повітря

Отримані значення коефіцієнта кореляції свідчать про наявність виражених залежностей стандарту і коефіцієнта варіації від математичного сподівання.

З рисунка 3.3 а видно, що зростання середніх значень приводить до зменшення стандартів, але отримана залежність досить сильно розмита, що підтверджується коефіцієнтом кореляції $R = 0,8$. Зображена на рисунку 3.3 а залежність між середнім значенням M і коефіцієнтом варіації V більш тісна (коефіцієнт кореляції складає $R = -0,87$) і може використовуватися для обчислення значень V через M . Наведене на рисунку рівняння лінійної регресії може використовуватися для обчислення коефіцієнтів варіації місячних розподілів вологості у певний строк спостережень через відповідні середньомісячні значення. Недолік цього зв'язання полягає у тому, що воно не зовсім точно веде себе при середній вологості 100%. За рівнянням втримуємо коефіцієнт варіації $V = 0,051$, хоча насправді повинно бути $V = 0$ з метою узгодження з фізичним змістом досліджуваного явища приймемо рівняння

$$V = 0,7 - 0,007 M \quad (3.1)$$

яке також зображене на рисунку 3.3. З рисунка видно, що воно не лише дає $V = 0$ при $W = 100\%$, але й проходить ближче до верхньої межі дослідних точок, створюючи тим самим деякий запас у прогнозуванні за ним мінливості.

Використовуючи рівняння (3.1), можна за середньомісячним значенням вологості для певного строку спостережень (години доби) встановити відповідний коефіцієнт варіації та стандарт, рівний

$$S = V M = 0,7 M - 0,007 M^2 \quad (3.2)$$

Перевіримо рівняння регресії (3.2) за даними усіх українських метеостанцій для строку спостережень 13 годин. Для цього виконана статистична обробка гістограм, наведених в таблиці А.4 з обчисленням по кожній метеостанції за даними таблиці 6 математичного сподівання, стандарту і коефіцієнта варіації за формулами:

$$m = \sum P_i X_i ; \quad \sigma = \sqrt{\sum P_i (X_i - m)^2} ; \quad V = \frac{\sigma}{m}, \quad (3.3)$$

де $P_i = \frac{n_i}{n_0}$ і $n_0 = \sum n_i$ - імовірність попадання в інтервал

X_i - середина інтервалу

n_i - частота в днях

$n_0 = \sum n_i$ - загальна частота.

За результатами обробки збудовано графік на рисунку 3.4.



Рис. 3.4. Залежність коефіцієнта варіації від математичного сподівання (за даними 65 метеостанцій України)

З рисунка видно, що досліджувана залежність така ж тісна, як і на рисунку 3.3 б, що підтверджує також коефіцієнт кореляції $R = -0,921$. Зображене на рисунку рівняння (3.1) також проходить поблизу верхньої межі дослідних точок. Таким чином, дані 46 українських метеостанцій для строку спостережень 13 годин

підтверджують дані метеостанції Полтава, отримані для усіх 8 строків спостережень. Це дозволяє використовувати залежність (3.1) для обчислення коефіцієнта варіації вологості повітря через його математичне сподівання для усієї території України та усіх строків спостереження.

При необхідності розгляду загального розподілу вологості у даному місяці року за усі строки спостережень його математичне сподівання може бути знайдене за довідником [30], або обчислене, як середнє значення з математичних сподівань вологості в усі строки (4 або 8). Проблема полягає у відшукуванні стандарту загального розподілу через стандарти для певних строків, визначені за формулою (3.2). Аналіз літератури [14] показує, що поставлена задача зводиться до відшукування загальної дисперсії через між групову та групову дисперсії.

За термінологією [14], вибірка даних для кожного з і строків спостереження називається групою і має власні групові характеристики: середнє, дисперсію і стандарт. У результаті статистичної обробки 4 чи 8 групових середніх отримуємо загальне середнє значення (середньомісячну вологість повітря) і між групову дисперсію.

Якщо для кожного k-того строку спостережень відомі значення математичного сподівання M_k і дисперсії $D_k = S_k^2$, їх згідно з [14] можна вважати груповими характеристиками.

Міжгрупова дисперсія враховує розкид групових середніх M_k відносно загального математичного сподівання:

$$D = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L (M_k - M)^2 \quad (3.3)$$

де L - кількість груп, тобто строків спостереження.

M – загальне (за усі строки спостережень) математичне сподівання:

$$M = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L M_k \quad (3.4)$$

Тоді загальна дисперсія за [14] дорівнює :

$$D = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L D_k + D_i \quad (3.5)$$

і відповідний стандарт дорівнює

$$S = \sqrt{D} \quad (3.6)$$

Використовуючи виявлений зв'язок між середнім значенням і стандартом для окремого строку спостережень (якобто групи), за (3.2) отримуємо :

$$D_e = S_e^2 = (M_e V_e)^2 = (0,7 M_e - 0,007 M_e^2)^2 = 0,49 M_e^2 - 0,0098 i_e^3 + 0,000049 i_e^4 \quad (3.7)$$

Тоді загальна дисперсія дорівнює :

$$D = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L (0,49 M_e^2 - 0,0098 i_e^3 + 0,000049 i_e^4) + \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L (i_e - M)^2 \quad (3.8)$$

Вважаючи групові середні відомими та використовуючи формулу (3.2) для обчислення групових стандартів, отримуємо остаточну формулу для загального стандарту

$$S = \sqrt{D} = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{k=1}^L (0,49 i_e^2 - 0,0098 i_e^3 + 0,000049 i_e^4) + \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L (M_e - M)^2} \quad (3.9)$$

де M_i - середньомісячні вологості повітря для i -тих строків спостережень

M - загальне (за усі строки спостережень) математичне сподівання (3.4).

Отримані формули дозволяють визначати математичне сподівання та стандарт розподілу добової вологості (в усі строки спостережень) за значеннями математичних сподівань для окремих строків.

3.3 Сезонні та добові зміни вологості повітря

З метою аналізу циклічних змін вологості повітря протягом доби та при зміні пів року побудовані три графіки (рис.3.5, 3.6, 3.7), на яких лінії відповідають середньомісячним значенням, значенням стандартного відхилення та коефіцієнта варіації за три роки з восьмистрокових спостережень. Середнє значення, коефіцієнт варіації і стандартне відхилення обчислені за допомогою програми Excel для усіх місяців та восьми строків спостережень протягом 2019-2021 років на метеостанції Полтава.

З рисунків видно, що характер сезонних змін середніх значень, стандартного відхилення та коефіцієнта варіації однаковий для усіх строків спостережень. Верхня крива середніх значень відповідає строкові 2 годин, а нижня - 11 годин, що відображає звичайний добовий хід вологості. Цікаво, що нічна вологість о 2

годині мало міняється протягом року (від 80% до 90%), а денька об 11 годині – змінюється набагато сильніше.

Стандарти і коефіцієнти варіації навпаки, літом зростають, а в зимові місяці істотно зменшуються, бо у цей період вологість повітря постійно близька до 100%. Нижня крива відповідає строкові 2 години, а верхня – денному періоду, коли вологість більш мінлива.



Рис. 3.5. Сезонні зміни середньомісячних значення для 8 строків спостережень



Рис. 3.6. Сезонні зміни значень стандартного відхилення для 8 строків спостережень.



Рис. 3.7. Сезонні зміни значень коефіцієнта варіації для 8 строків спостережень з метою аналізу добових і сезонних змін форми розподілу ординати випадкового процесу вологості повітря за тими ж даними метеостанції Полтава збудовані гістограми розподілу для трьох місяців (січень, березень, липень) та 4 строків спостереження: 2, 8, 14 та 20 годин. Для цього підраховані частота попадань до інтервалів, межі яких кратні 5 %, за допомогою вбудованої функції Excel "ЧАСТОТА". З метою порівняння на кожному графіку накладено дві гістограми. Темним кольором позначено гістограми, які побудовано в 2, 8, 14 або в 20 годин, білим кольором – загальні гістограми, збудовані за об'єднаними даними з усіх строків спостережень.





Рис. 3.9. Гістограми розподілу вологості за добу

З рис.3.8. видно, що форма гістограм змінюється з порою року. В січні та березні, коли найчастіше реалізуються вологості, близькі до 100%, вони близькі до експоненти. В липні, коли загальна і денна вологість стає значно меншою, гістограми приймають пагорбоподібну форму з вираженою модою, вершина “горбу” переміщується в зону середніх вологостей, приблизно від 40 до 80%. Де вологість приближається до 100% там пройшли дощі. Форма гістограм протягом доби одного і того ж місяця майже не змінюється. Більш схожа форма гістограм січня і березня (Рис 3.8. а, г, ж, к, в, е, и, м) – витягнута вправо тому що взимку і на початку весни вологість висока.

Виконаний аналіз свідчить про наявність виражених сезонних та добових змін числових характеристик вологості повітря. Форма гістограм розподілу залежить від пори року, але мало змінюється протягом доби, що свідчить про можливість використання однакового виду закону розподілу для імовірнісного опису вологості повітря в усі строки спостережень.

3.4 Обґрунтування виду закону розподілу вологості

Відносна вологість повітря є випадковою величиною, яка має чітко обмежену область визначення $0 \leq W \leq 100\%$. Гістограми розподілу вологості аналізувалися на рис. 3.8 за даними метеостанції Цюратва. Найхарактерніші з них наведено на рис. 3.9. Аналіз даних інших метеостанцій показує, що форми розподілу вологості такі ж, як на рисунку 3.9.

При математичних сподіваннях в межах від 40% до 80% розподіли мають пагорбноподібний вигляд з відрізними “хвостиками”, а при $M = 30\%$ або $M > 70\%$ – наближаються до експонентоподібної форми.

Так і форми гістограм можна описати зрізаним нормальним розподілом з густиною :

$$f(x) = \frac{c}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (3.10)$$

де σ , μ і c – параметри зрізаного нормального розподілу, які не дорівнюють математичному сподіванню і стандарту і повинні визначатися шляхом вирішення системи рівнянь

$$\int_0^{100} f(x)dx = I_0 = 1$$

$$\int_0^{100} xf(x)dx = I_1 = m \tag{3.11}$$

$$\int_0^{100} x^2 f(x)dx = I_2 = S^2 + m^2$$

де $f(x)$ - густина розподілу (3.10)

m і S – значення математичного сподівання і стандарту, обчислені при статистичній обробці вибірки.

Вирішення системи (3.11) реалізоване в Excel на основі використання інструменту “Пошук рішень”. Інтеграли в рівняннях (3.11) обчислюються методом трапецій з кроком інтегрування $d = 1\%$. Цільова функція записана у вигляді суми квадратів нев’язок рівнянь (3.11):

$$(I_0 - 1)^2 + (I_1 - m)^2 + (I_2 - m^2 - S^2)^2 \rightarrow 0 \tag{3.12}$$

Згачом задача пошуку рішень ставиться наступним чином: відшукати значення параметрів μ , σ , c , при яких цільова функція (3.10) прийме мінімальне значення.

Рівність (3.12) до нуля означає точну відповідність підбраного розподілу заданим числовим характеристикам: математичному сподіванню m і стандарту S . Початковими наближеннями для пошуку невідомих параметрів μ, σ і c доцільно приймати значення: $\mu = m$, $\sigma = S$, $c = 1$

Як приклад, за розробленою схемою підбрано декілька різних зрізаних нормальних розподілів різного виду. Їх числові характеристики, параметри і дослідні гістограми густини розподілу наведені в таблиці 3.3.

З таблиці можна сказати, що на першому рисунку графік усічений з права, на другому рисунку показано лише лівий “хвостик” графіка вершина якого знаходиться з права. А третій рисунок має вигляд, який найбільш наближається до вигляду нормального розподілу і лише трішки усічений з правого боку. З рисунків видно, що густина підбраних розподілів досить точно описує дослідні гістограми.

Таблиця 3.3 Характерні типи розподілів вологості повітря



Іншим варіантом опису розподілів вологості є використання поліноміального експоненціального розподілу [14], густина якого має вигляд:

$$f(x) = \exp(a_0 + a_1X + a_2X^2) \quad (3.13)$$

де a_0, a_1, a_2 – параметри, які повинні обчислюватися шляхом вирішення системи трансцендентних рівнянь за методом викладеного в [14]. Там же показано, що при певних умовах поліномо-експоненціальний розподіл (3.13) може вироджуватися в нормальний. Еквівалентність розподілів (3.10) і (3.13) покажемо шляхом їх аналітичного співставлення.

Спочатку виразимо (3.10) через (3.13):

$$\text{Для цього перетворимо рівняння } f(x) = \frac{c}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \text{ у вигляді } f(x) = e^{\ln \frac{c}{\sigma\sqrt{2\pi}} - \frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}.$$

Прирівняємо ступеневі вирази обох рівнянь

$$a_0 + a_1x + a_2x^2 = -\frac{x^2}{2\sigma^2} + \frac{x\mu}{\sigma^2} - \frac{\mu^2}{2\sigma^2} + \ln \frac{c}{\sigma\sqrt{2\pi}}$$

Тепер виражаємо коефіцієнти a_1, a_2, a_3 через σ, μ і c

$$a_2 = -\frac{1}{2\sigma^2}; \quad a_1 = \frac{\mu}{\sigma^2}; \quad a_0 = \ln \frac{c}{\sigma\sqrt{2\pi}} - \frac{\mu^2}{2\sigma^2}. \quad (3.14)$$

Також можна виразити рівняння (3.13) через (3.10):

Для цього з рівняння $f(x) = e^{a_0 + a_1x + a_2x^2}$ виділимо повний квадрат

$$\begin{aligned} a_2x^2 + a_1x + a_0 &= a_2 \left[x^2 + \frac{a_1}{a_2}x + \frac{a_0}{a_2} \right] = a_2 \left[\left(x^2 + 2\frac{a_1}{2a_2}x + \left(\frac{a_1}{2a_2} \right)^2 \right) - \left(\frac{a_1}{2a_2} \right)^2 + \frac{a_0}{a_2} \right] = \\ &= a_2 \left[\left(x + \frac{a_1}{2a_2} \right)^2 + \left(\frac{a_0}{a_2} - \frac{a_1^2}{4a_2^2} \right) \right] = a_2 \left[\left(x + \frac{a_1}{2a_2} \right)^2 + \left(a_0 - \frac{a_1^2}{4a_2} \right) \right] \end{aligned}$$

Отже рівняння (3.11) набуває вигляду $f(x) = e^{a_2 \left(x + \frac{a_1}{2a_2} \right)^2 + \left(a_0 - \frac{a_1^2}{4a_2} \right)}$ або

$$f(x) = e^{a_2 \left(x + \frac{a_1}{2a_2} \right)^2} e^{\left(a_0 - \frac{a_1^2}{4a_2} \right)}.$$

Звідси можна виразити m, S і c

$$\mu = -\frac{a_1}{2a_2}, \quad \sigma = \pm \sqrt{\frac{1}{-2a_2}}, \quad c = \pm \sqrt{\frac{\pi}{-a_2}} e^{\left(a_0 - \frac{a_1^2}{4a_2} \right)} \quad (3.15)$$

Отже, розподіли (3.10) і (3.13) є різними формами запису одного і того ж загального закону. Знайдені нами перетворення параметрів (3.10) і (3.13) дозволяють легко переходити від однієї формули до іншої.

Для перевірки виведених залежностей (3.14) і (3.15) прийmemo параметри $\sigma=30$, $\mu=70$, $c=1,2$, $f(x)$ змінюється в межах від 0 до 100.

Перед побудовою графіків шляхом підстановки були отримані такі значення параметрів :

$$a_0 = -6.860, \quad a_1 = 0.0117, \quad a_2 = -0.000555.$$

Таблиця 3.4

Густина поліномо-експоненціального і зрізаного розподілів



Рис. 3.9. Графік розподілу вологості за формулами (3.10) і (3.13).

З рисунка видно, що графіки є ідентичними. Тобто формули (3.10) і (3.13) є однаковими.

Необхідні для інженерних розрахунків в імовірності попадання випадкової величини вологості повітря до заданого інтервалу $[a, b]$ можна визначити шляхом чисельного інтегрування густини поліномо-експоненціального розподілу (3.13):

$$P[a, b] = \int_a^b f(x) dx = \int_a^b \exp(a_0 + a_1 X + a_2 X^2) dx \quad (3.16)$$

При використанні згаданого нормального розподілу можна скористатися таблицями норм розподілу або функцією Excel “НОРМРАСП” яка дає значення функції нормального розподілу $F_3(X)$ при заданому аргументі X , а також параметри μ і σ . Тоді імовірне попадання до інтервалу $[a, b]$ дорівнює:

$$P[a, b] = F_3(b) - F_3(a) = \sigma [F_n(b) - F_n(a)]$$

де $F_n(b)$ і $F_n(a)$ – значення функції нормального розподілу з аргументами μ і σ .

3.5 Частотна структура процесу вологості повітря

Поширеними характеристиками частотної структури випадкових процесів є ефективна частота, кореляційна функція та густина розподілу спектра частот [9], [2]. В роботах [19], [20] показано, що для визначення розрахункових значень навантажень впливів на будівельні конструкції з використанням імовірнісної моделі випадкового процесу досить задати ефективну частоту та нормовану кореляційну функцію.

За визначенням В.В.Болотіна [9], [10], ефективна частота стаціонарного випадкового процесу дорівнює відношенню стандарту його першої похідної до стандарту ординат самого процесу: $\omega = S_{\dot{x}}/S_x$. В [20] показано доцільність використання такого способу визначення ефективної частоти при умові обчислення похідної шляхом чисельного диференціювання реалізації випадкового процесу за формулою:

$$\dot{x}_i = (x_{i+1} - x_i) / \Delta t, \quad (3.17)$$

де x_i, x_{i+1} – послідовні ординати випадкового процесу, Δt – інтервал квантування за часом, який для випадкового процесу середньодобової вологості повітря дорівнює одній добі.

Тоді оцінка ефективної частоти квазістаціонарного випадкового процесу середньодобової вологості повітря для j -того місяця року дорівнює

$$\omega_j = \dot{\phi}_j / S_j, \quad (3.18)$$

де S_j і \dot{S}_j – оцінки стандартів випадкового процесу середньодобової температури повітря і його похідної, обчислені за відомими формулами.

Для побудови рис. 3.10. використані результати стрілових вимірювань на метеостанції Полтава протягом 2019-2021 років. Для цього сформовані три листи в Excel, які відповідають трьом рокам спостережень. На них підраховано похибку

для кожного місяцю року окремо за формулою $\dot{x} = \frac{x_i - x_{i-1}}{\Delta t}$ де Δt – інтервал, який

дорівнює 0,125. Крім підрахована характеристика стандартного відхилення

процесу вологості та його похідної за допомогою функції $\dot{\phi} = \frac{\dot{S}}{S}$ і значення

частоти за формулою (3.18). По кожному року отримано 12 значень частоти, а за три роки – 36. Зміни ефективної частоти протягом року відображені на рисунку 3.10.

З рисунка видно, що ефективна частота досить стабільна як протягом року, так і з року в рік. Сезонна мінливість практично не відслідковується і рік від року відрізняються незначно. Це свідчить про стабільність ефективної частоти, яка не

має вираженого сезонного характеру і може прийматися середньою за рік.

Осереднення 36 значень за три роки дає $\omega = 6,0$ 1/добу.



Рис. 3.10. Сезонні зміни ефективної частоти випадкового процесу вологості повітря

За допомогою формули $T = \frac{2\pi}{\omega}$ можна вирахувати ефективний період, який дорівнює $T = \frac{6.28}{6.01} = 1,045$ доби і показує, що коливання вологості відбуваються дещо повільніше, ніж за одну добу. Отже найвагомішими є добові коливання вологості, які й наближають значення T до одиниці. Сезонні зміни та випадкові міждобові коливання вносять незначний вклад в частотну структуру випадкового процесу вологості повітря.

Якщо головну роль грають добові зміни вологості, така частотна структура повинна бути характерною і для інших метеостанцій. Отже, у першому наближенні значення ефективної частоти випадкового процесу вологості повітря $\omega = 6,0$ 1/добу можна поширити на усю територію України.

3.6 Висновки щодо методики статистичної обробки даних по вологості повітря на території України

Виконаний аналіз процесу зміни вологості повітря дозволяє сформулювати імовірнісну модель для його опису та порядок статистичної обробки наявних метеорологічних даних. Загалом вологість повітря може бути представлена у формі квазістаціонарного диференційованого випадкового процесу, для чого слід за вказаними нижче формулами і методами встановити наступні параметри:

- річні функції математичного сподівання у вигляді таблиці – безпосереднім вибором з таблиці 3 “Середня місячна та річна вологість повітря” довідника по клімату [30];
- залежність стандарту розподілу ординати від математичного сподівання – за отриманою вище формулою (3.2);
- параметри зрізаного нормального закону розподілу ординати (3.10), – шляхом вирішення системи нелінійних рівнянь (3.11) за допомогою “пошуку рішення” в середовищі табличного процесора EXCEL, або параметри поліноміального ексцелентного розподілу (3.13);
- постійне протягом року значення ефективної частоти – за формулою (3.18) та результатами строкових спостережень на конкретній метеостанції; у першому наближенні рекомендується прийняти $\omega = 6,0$ 1/добу.

Така імовірнісна модель та схема статистичної обробки максимального мірою дозволяє використати наявні метеорологічні дані з довідника [30]. Зміни вологості на протязі однієї доби враховані в законі розподілу ординати, який з використанням залежності (3.9) будувється для усіх строків спостережень загалом. Врахувати добовий хід вологості у явному вигляді, як правило, немає необхідності, адже залежна від вологості повітря сорбційна вологість будівельних матеріалів не може змінюватися настільки швидко (протягом декількох годин).

2.7 Формування бази метеорологічних даних з вологості повітря

3.7.1 Вимоги до імовірнісної моделі вологості повітря.

Імовірнісна модель вологості повітря призначена для прогнозування довговічності будівельних матеріалів з урахуванням атмосферних впливів експлуатаційного середовища, а також для оцінювання температурно-вологісного режиму приміщень в будівлях різного призначення. Для вирішення поставлених завдань необхідно:

- обчислювати граничні значення вологості повітря за заданими імовірностями їх реалізації;
- знаходити тривалість перебування вологості в тих чи інших межах;

- оцінювати періодичність зміни рівня вологості, у тому числі закономірні сезонні зміни та більш часті випадкові коливання;
- аналізувати сумісну дію вологості повітря з іншими кліматичними факторами (температура повітря, швидкість вітру, і т.п.).

Наведеним вимогам відповідає імовірнісна модель квазістаціонарного випадкового процесу, у якій сезонні коливання задаються річними функціями зміни основних параметрів, а випадкова складова описується змінним у законом розподілу ординати. Така форма подання забезпечує рішення поставлених вище задач нормування з урахування вологості повітря проєктувальні будівель і споруд. Аналогічні імовірнісні моделі розроблені для маси снігового покриву [19], швидкості і тиску вітру [15], [19], а також температури повітря. Подібність форми імовірнісного подання вологості повітря до розроблених моделей інших кліматичних факторів забезпечить можливість суцільного урахування вказаних параметрів.

3.7.2 Метеорологічні дані, використані для дослідження вологості повітря на території України

Детальний аналіз структури випадкового процесу вологості повітря можна зробити з використанням результатів строкових вимірювань вологості повітря на метеостанції Полтава. Наявна реалізація складена з результатів восьмистрокових спостережень протягом 3 років і при цьому містить 3760 значень відносної вологості повітря.

Для нормування вологості необхідно використовувати результати спостережень протягом більш тривалого часу. При 20 - 25 роках спостережень такі реалізації будуть складатися з 60 - 70 тисяч результатів восьмистрокових вимірювань для кожної метеостанції. Враховуючи, що на території України працюють тільки 200 метеостанцій, результати строкових спостережень протягом декількох десятиків років матимуть занадто великий обсяг. Оскільки банк даних такого обсягу неможливо сформувати в межах магістерської роботи, слід використати узагальнені дані, опубліковані в інформаційних метеорологічних виданнях для усіх метеостанцій України. Різноманітна інформація щодо вологості

повітря міститься в довіднику по клімату [30], де наведено узагальнені дані у вигляді гістограм розподілу, середніх та інших значень вологості для 254 метеорологічних станцій і постів. Інформація довідника охоплює досить значний період спостережень (в основному з 1936 до 1964 року, а для деяких метеостанцій навіть з 1886 року) і є достатньою для статистичного дослідження вологості повітря на території України.

Загальний перелік наведених в довіднику по клімату [30] результатів вимірювання вологості зроблений в таблиці 3.1. Перелік метеостанцій і років спостереження наведений у додатку А.1 таблиці А.1.

Таблиця 3.1 Перелік даних довідника по клімату з вологості повітря

З таблиці 2.1 та додатка А.1 видно, що довідник містить досить різнобічну інформацію для великої кількості пунктів спостереження (ПС). Найповніші дані містяться у таблицях 3 та 4, які надані 254 метеостанціями з чотирьох строковим вимірюванням на добу.

3.7.3 Структура бази даних та її реалізація на ДЖ

База метрологічних даних сформована відповідно до таблиць 3, 4, 5, 6 та 9 довідника по клімату [30], а також включає результати восьмистрокових вимірювань вологості повітря на метеостанції Полтава протягом 2019, 2020, 2021 років та лютого - травня 2023 року. База метеорологічних даних сформована в середовищі табличного процесора EXCEL. Усі наявні дані оформлені у вигляді окремих робочих книг з відповідними таблицями, структура яких близька до таблиць довідника [30], але змінена з метою покращення подальшої обробки. Так наприклад, назви областей і метеостанцій винесені в окремі колонки, щоб вони не ускладнювали розрахунок. Всього на комп'ютера було внесено дані по 254 станціях в середньому за 20-25 років. Загалом це складає понад 6350 тисяч результатів строкових вимірювань.

Загальний обсяг та структура бази метеорологічних даних відображені в таблиці 3.2. Для прикладу нижче наведені фрагменти таблиць, які сформовані в EXCEL. Наведені таблиці дають уявлення про структуру бази даних та дозволяють планувати варіанти їх статистичної обробки.

Таблиця 3.2 Структура бази метеорологічних даних з вологості повітря

таблиці задані межі інтервалів (від 0 до 100 через 5), а з другої – кількість метеостанцій, які попали в межі з заданою кількістю років спостереження.



Рис. 2.7.1 Гістограма розподілу метеостанцій за кількістю років спостереження.

З гістограми видно, що для переважної більшості метеостанцій найменше спостереження за 15 – 30 років, але на окремих станціях (усього таких 5) виконувалися спостереження протягом 60 - 75 років.

В результаті отримані кількості даних, що відносяться до кожного з заданих інтервалів. За стовпчиками кінців інтервалів та кількості даних збудовані гістограми розподілу з використанням “майстра діаграм” EXCEL. Вздовж осі абсцис відкладена тривалість спостережень у роках, а вздовж осі ординат – кількість метеостанцій, для яких є дані такого обсягу.

Збудовані за даними таблиці А.1 гістограми розподілу станцій за кількістю років спостережень інших параметрів вологості наведені на рисунку 2.2, а в таблиці 2.8 виконане узагальнення інформації гістограм.



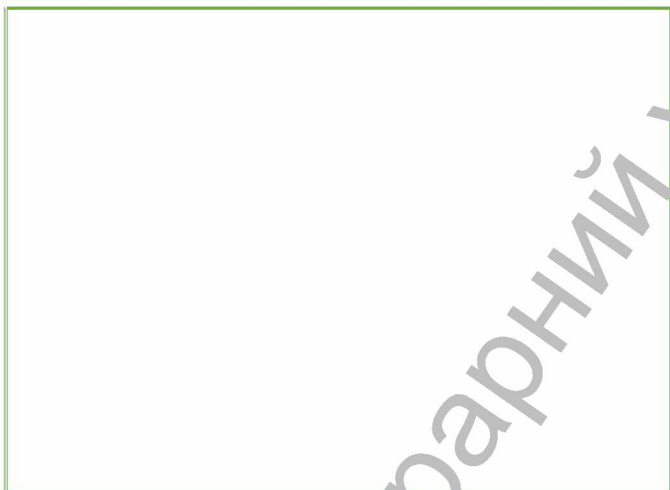


Рис. 2.2. Гістограма розподілу років спостереження в залежності від кількості метеостанцій

а, б, в, г – гістограми, які показують за скільки років метеорологічні станції мають дані спостережень.

Із гістограм а, б і в видно, що основна маса метеорологічних станцій має строк спостереження 20-25 років. Лише гістограма г (таблиця 9) показує, що найбільша кількість метеорологічних станцій має строк спостереження 15 років, але ця таблиця має найменшу кількість станцій.

Таблиця 2.8 Статистичний аналіз обсягів метеорологічних даних

Ці дані зібрані і узагальнені з таблиць довідника [30].

З таблиці 2.8 видно, що основна маса має середню кількість спостережень 20-25 років. Найменшу кількість спостережень мають таблиці 3 та 4, а найбільше значення кількості спостереження має таблиця 6. Таблиця 3 має найбільший обсяг спостережень, який дорівнює 370840 ординат, а таблиця 9 малочислена, вона має

всього 43800 ординат і 30 метрів висотою. З таблиці 3 і 4 заведені дані показують, що кількість опадів більше ніж за 10 років, менше ніж за 19 років.

Таблиця 9 (а) і 9 (б) показують результати спостереження, тобто результати спостережень за періодом (г) і 9 (д) довідки.

Достовірність висновків, які можна зробити на основі цих даних, можна оцінити шляхом порівняння з вищезгаданими даними подібних метеорологічних параметрів. Так наприклад, в дисертаційному дослідженні [1] за період з 1960 по 1980 рік встановлено, що середньорічний опадів становить 1000 мм.

З використанням цих даних можна зробити висновок, що результати спостережень за періодом з 1960 по 1980 рік є деякі ПС (рис. 1) за період з 1960 по 1980 рік за період з 1960 по 1980 рік.

Висновок: результати спостережень за періодом з 1960 по 1980 рік є деякі ПС (рис. 1) за період з 1960 по 1980 рік за період з 1960 по 1980 рік.

Висновок: результати спостережень за періодом з 1960 по 1980 рік є деякі ПС (рис. 1) за період з 1960 по 1980 рік за період з 1960 по 1980 рік.

Висновок: результати спостережень за періодом з 1960 по 1980 рік є деякі ПС (рис. 1) за період з 1960 по 1980 рік за період з 1960 по 1980 рік.

метеостанцій тривалість спостережень окремих станцій до 75 років,

4. Структура електроенергетичної обробки в середовищі

РОЗДІЛ 4

ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ

4 СТАТИСТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

4.1 Статистична обробка метеорологічних даних (результатів спостереження за вологістю повітря).

Для того щоб отримати статистичні характеристики процесу вологості повітря: середні значення, стандарт і коефіцієнт варіації потрібно мати гістограми розподілу. Такі гістограми є в таблиці з довідника по клімату [30] лише для 65 метеостанцій і то лише для строку спостережень 13 год.ч. Таким чином ми не можемо визначити статистичні характеристики вологості в усі терміни спостереження.

На основі методики, яка розроблена в § 2.6, розроблена непряма методика призначення коефіцієнта варіації та стандарту через математичне сподівання. Для цього необхідно мати середньодобову вологість в добовий хід вологості. Середньодобова вологість для маси метеостанцій є в довіднику по клімату [30] але добовий хід вологості детально даний в таблиці 9 для 30 метеостанцій.

Доцільніше всього скористатися даними таблиці 4 для 254 метеостанцій України. В цій таблиці наведені середні вологості для кожного з місяців року для 4 строків спостереження. Ця таблиця дає можливість обчислити середньодобову вологість для кожного місяця року, а також дисперсію (D) і стандарт (S) за формулами (3.6) і (3.7), які показані в таблицях 1 та 3.

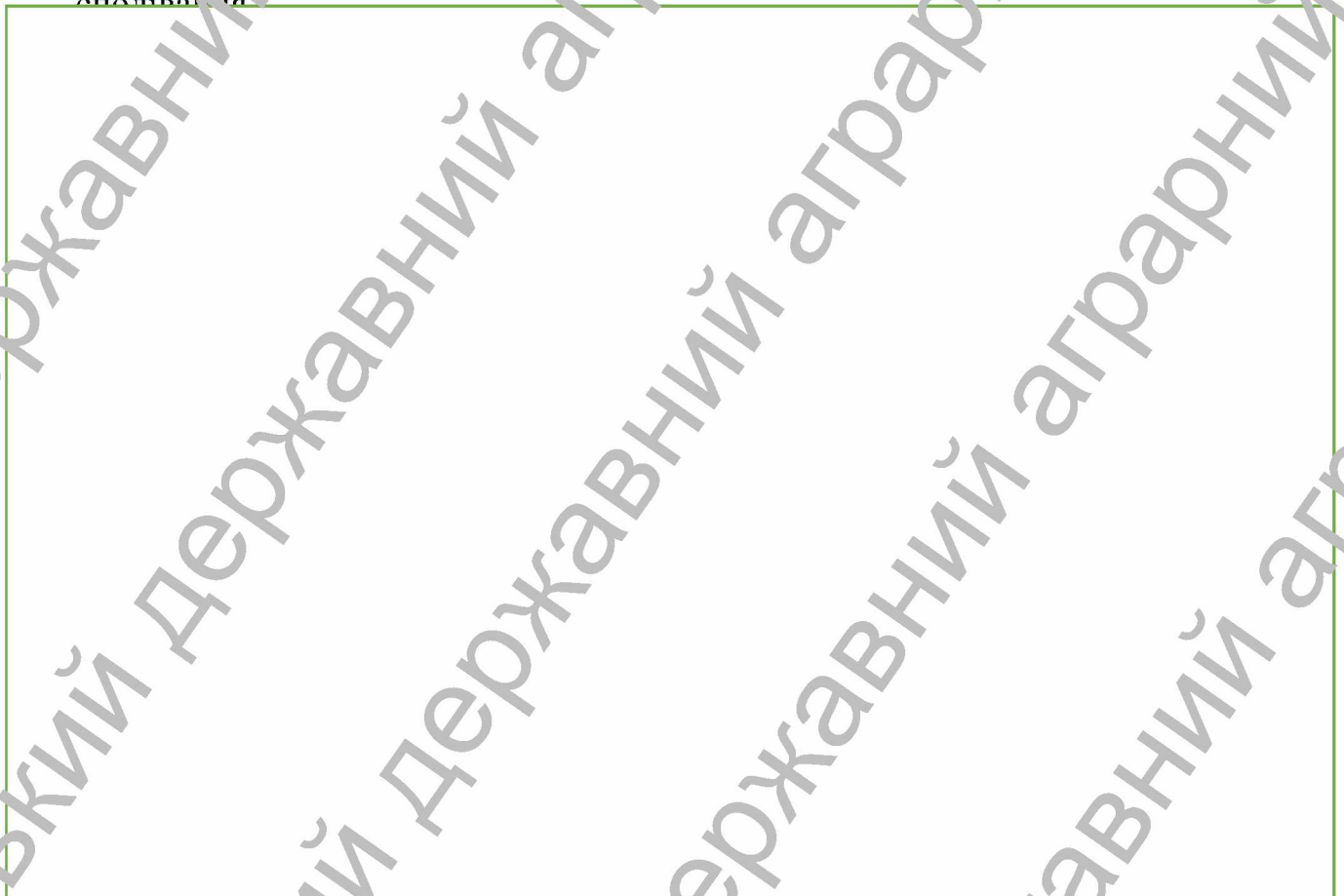
4.2 Узагальнення статистичних характеристик (функції чіслених характеристик).

За даними 248 метеостанцій відраховано середню місячну і річну відносну вологість повітря. З метою узагальнення проаналізоване ряд перетворень функцій математичного сподівання, які повинні дати результати, однакові для усіх метеостанцій України. Перетворені функції для усіх 248 метеостанцій утворюють таблицю з 13 стовпців і 248 строчок. У стовпчиках містяться дані для 12 місяців, у

останньому – середне значення для строки. Дані кожного стовпчика оброблялися як вибірка випадкової величини, у результаті чого отримані середнє значення, стандарт і коефіцієнт варіації. Стандарт і коефіцієнт варіації дозволяють судити про похибки оцінювання функції математичного сподівання за допомогою усіх проаналізованих способів узагальнення.

У першому, другому і третьому варіантах перетворення обчислені різниці і середньорічних значень: середнього, максимального і мінімального. У трьох останніх варіантах перетворення виконувалося ділення функції математичного сподівання на ті ж самі річні значення.

Таблиця 4.1 Точність різних варіантів узагальнення функцій математичного сподівання

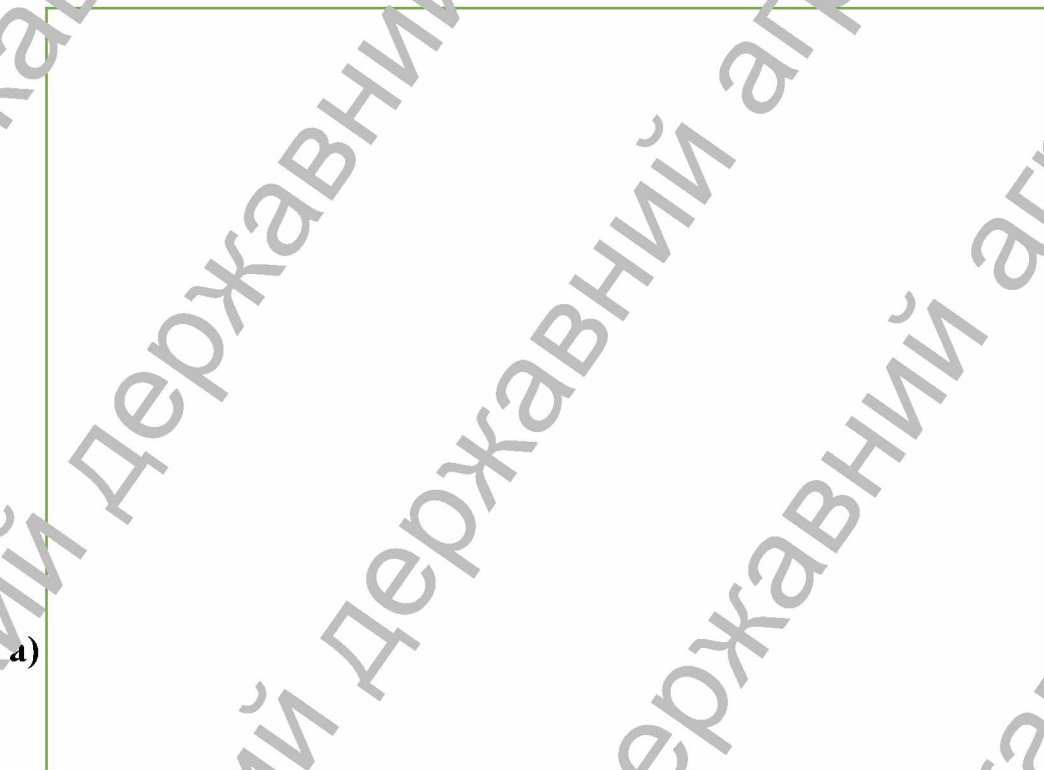


З таблиці 4.1 видно, що з підібраних шести варіантів перетворень перші три дають стандарти похибок в межах 4%. Перетворення шляхом ділення на річні характеристики дають стандарти близько 0,4%. У результаті зворотнього перетворення стандарт перемножить на середньорічну вологість, яка приблизно дорівнює 75%, і стане різним приблизно 25-30%. Таким чином, більш точним

способом узагальнення функцій математичного сподівання є віднімання середньорічних характеристик. Для зручності використання зупинилися на першому перетворенні (різниця функції математичного сподівання і середньорічного значення). За другим варіантом підраховано середню місячну і річну відносну вологість повітря для 248 метеостанцій України.

З таблиці 4 довідника по клімату [30] сформовано в програмі Excel базу даних в якій підраховано за 248 метеостанцій України середні значення, стандарт і коефіцієнт варіації, а також таблиця в якій підраховано для кожної метеостанції для 12 місяців різниця між середнім значенням і річним. Ця таблиця і стала основою для побудови графіка 4.1. З рисунка видно, що розкид вологості лежить в межах від -18,1 до 18,8. А найбільший розкид спостерігається в 7 місяці і складає 17,9, найменший розкид спостерігається в 10 місяці і складає 2,67.

Рис. 4.1. Розподіл середньомісячної і річної відносної вологості повітря за



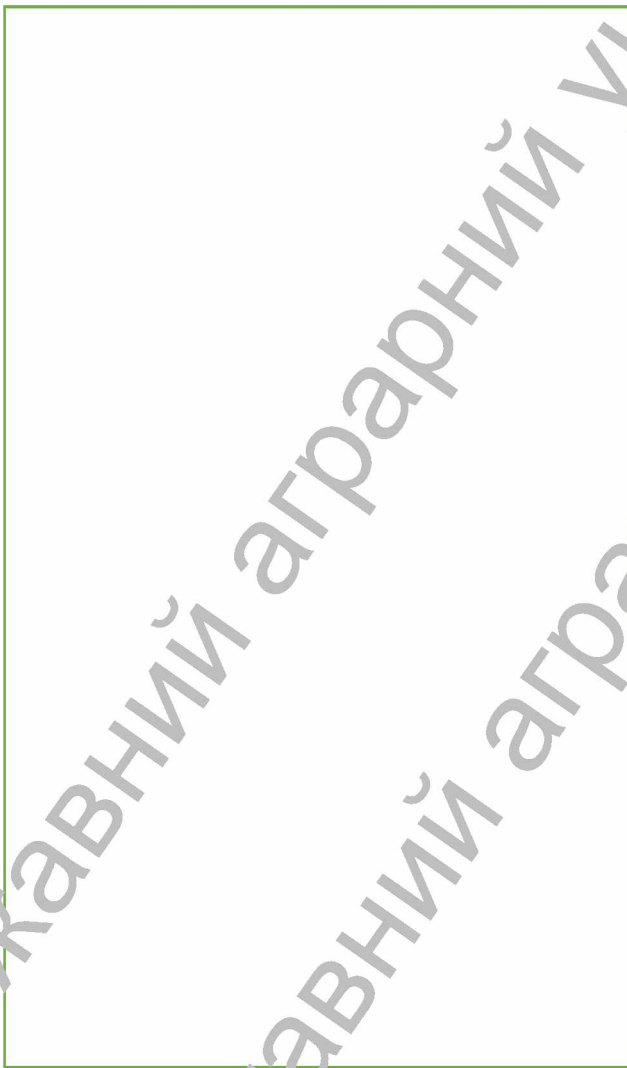


Рис. 4.2. Залежності стандарту і коефіцієнта варіації від математичного сподівання вологості повітря

На рисунку 4.2. а , збудовані залежності стандарту і коефіцієнта варіації від математичного сподівання вологості повітря за даними таблиці 4 довідника по клімату [30]. Коефіцієнт кореляції для цього графіка дорівнює $R = -0,82$. Для всіх метеостанцій підраховано середнє значення, стандарт і коефіцієнт варіації.

На рисунку 4.2. б показана залежність середнього значення і коефіцієнта варіації. Коефіцієнт кореляції для цього графіка дорівнює $R = -0,9033$. Також на цьому графіку побудована лінія тренду, рівняння якої показано на області діаграми і ще одна додаткова лінія, яка проведена по верхній межі розкиду значень. Ця додаткова лінія має таке рівняння

$$V = 1.5 - 0.015m \quad (4.1)$$

яке й рекомендується використовувати для визначення функцій коефіцієнта варіації і стандарту через функцію математичного сподівання.

4.3 Територіальне районування України за статистичними характеристиками вологості повітря.

В результаті обчислень для кожної метеостанції визначаються розрахункові значення параметрів навантаження. Дані окремих метеостанцій які нанесені на географічну карту, утворюють поверхню, яка описує територіальну мінливість досліджуваного параметра. Згідно з [20] цій поверхні властиві випадкові коливання обумовлені похибками роботи метеостанцій, особливостями мікросередовища та мікроклімату місцевості. Дані різних метеостанцій характеризуються різною точністю і достовірністю внаслідок особливостей розміщення та роботи станцій, різних строків спостережень.

Як зазначено в [20] завданням територіального районування навантажень є визначення районних значень розрахункових параметрів та меж територіальних районів таким чином, щоб значення розрахункового параметра для кожної метеостанції найкраще відповідали встановленим районним значенням. Для розробки карти районування необхідно згладити наявні значення розрахункових параметрів. В [20] сказано, що це може призвести до того, що деякі метеостанції можуть потрапити до "чужих" районів.

При визначенні меж територіальних районів за згладженими даними можуть вважатися метеостанції чи місцевості, для яких значення досліджуваного параметра:

- а) перевищують встановлене районне значення;
- б) знаходяться в межах районного значення;
- в) може бути віднесене до попереднього.

Територіальна мінливість досліджуваного параметра описується імовірнісною моделлю нестаціонарного нормального випадкового поля. Згідно з [20] математичне сподівання цього поля визначається шляхом згладжування ординат, а стандарт S обчислюється в результаті статистичної обробки залишків від згладжування.

З метою обґрунтованого вибору кроку градації територіальних районів встановлені табличні залежності імовірностей між математичним сподіванням та межею випадкового поля розрахункового параметра. Така залежність наведена в таблиці 1.4 [20].

Математичне сподівання випадкового поля досліджуваного параметра для якої завгодно точки місцевості визначається шляхом згладжування ординат з експоненціальною ваговою функцією, що забезпечує зростання “ваги” метеостанцій по мірі їх наближення до точки згладжування.

Вагова функція точності за [20] гарантує точність й достовірність визначення досліджуваного параметра за даними i -тої метеостанції. Значення доцільно встановити обернено пропорціональним до стандарту оцінки досліджуваного параметра Q , обчисленої за даними цієї метеостанції.

Згідно з розробленим методом, який описаний в [20], територіальне районування розрахункових параметрів атмосферних навантажень виконується за допомогою ПЕОМ у такому порядку:

- 1) дані метеостанцій згладжуються й обчислюється стандарт залишків від згладжування, після чого вибирається крок градації територіальних районів й значення за таблицею 1.4 [20];

- 2) при тому ж значенні константи згладжування a за формулою (1.53) [20] обчислюються математичні сподівання поля розрахункового параметра M в вузлах сітки;

- 3) визначається верхня межа поля розрахункового параметра Q_{\max} та будується гістограма розподілу, за допомогою якої вибираються районні значення параметра;

- 4) визначається межі територіальних районів шляхом інтерполяції значень верхньої межі Q_{\max} поля досліджуваного параметра;

- 5) отримана карта територіального районування редагується.

Згідно з [20] районні значення розрахункового параметра потрібно встановити такими, щоб надлишкові запаси територіального районування були

мінімальними. Для цього використовується гістограма розподілу верхньої межі поля параметра Q_{\max} , яка має складний характер.

Описана методика в [20] дозволяє складати карти територіального районування розрахункових параметрів атмосферних впливів з вибором оптимального кроку градуса та раціональних районних значень досліджуваного параметра. В [20] показано, що граничні розрахункові значення змінних навантажень залежать від строку служби конструкції, а експлуатаційні - від частки строку служби, протягом якої вони можуть перевищуватися. Таким чином, предметом територіального районування атмосферних навантажень є двохпараметрична функція $Q(T)$, параметри якої змінюються залежно від географічного району. Існує три різні способи територіального районування. Найбільш точним та зручним для практичного використання є спосіб, заснований на середній функції $Q(T)$, що й було зроблено у попередньому параграфі.

Важливим аспектом розробленого в [20] способу територіального районування є правильний вибір нормуючого параметра, тобто базового періоду повторюваності T_0 чи базового значення Q_0 .

Запропонована в [20] процедура згладжування при побудові територіальних карт дозволяє відсіяти явно аномальні дані, забезпечуючи тим самим виявлення загальних закономірностей територіальної мінливості атмосферних навантажень.

За допомогою методик, яка описана в [20] на карті України, наведеній на рис. 4.3, побудовано 7 зон погоди.



Рис. 4.3. Зони вологості (середньорічні значення вологості повітря) на території України: 1 – 73% 2 – 74% 3 – 75%
4 – 76% 5 – 77% 6 – 78% 7 – 79%

З рисунка 4.3. видно, що 7 і 6 зони вологості розташовані на лівобережній частині України і на півночі. В центральних і східних областях, а також в Криму переважають 1, 2, 3 і 4 зони вологості.

Користуючись картою рис. 4.3, для довільного географічного району України можна знайти середньорічну вологість повітря M_0 . Перемноживши значення вологості відповідної зони на функцію наведену в таблиці 4.2 і на рисунку 4.4, отримуємо функцію математичного сподівання

$$M(t) = M_0(t) \cdot M_p, \quad (4.2)$$

Таблиця 4.2 Узагальнена функція математичного сподівання

Тоді функція стандарту має вигляд:

$$S(t) = 1.5M_0(t) - 0.05M_0^2(t), \quad (4.3)$$

Отримані статистичні характеристики дозволяють відібрати зрізаний нормальний розподіл для опису вологості повітря.



рис. 4.4. Функція математичного сподівання

Висновки з розділу.

Проведені дослідження вологості повітря на території України дозволяють зробити наступні висновки:

1. Сезонні зміни вологості повітря мають однаковий характер для усіх метеостанцій України, що дозволило узагальнити функції математичного сподівання шляхом віднімання середньорічної вологості.
2. За даними 248 метеостанцій збудована карта середньорічної вологості рис. 4.3.
3. Функції математичного сподівання і стандарту вологості повітря для довільної метеостанції рекомендовано визначити наступним чином:
 - ⇒ по карті (рис. 4.3.) визначається до якої зони вологості належить район і відповідне значення вологості повітря;
 - ⇒ значення вологості повітря перемножується на функцію (4.2) і знаходиться функція математичного сподівання;
 - ⇒ за формулою (4.2) знаходиться функція стандарту.
4. Карта (рис. 4.3), таблиця 4.1 і формули (4.1), (4.2), (4.3) дозволяють отримати статистичні характеристики, необхідні для підбору закону розподілу для довільного географічного району України.

У першій строчці таблиці наведені маси сухої цегли m_c , а в наступних – зволоженої m_b . За наведеними в таблиці масами обчислюють вологість:

$$W = \frac{m_b - m_c}{m_c} \times 100\% \quad (5.1)$$

Зміни середньої вологості у часі відображені на рисунку 5.1, збудованому за даними останньої колонки таблиці 5.1. Вздовж осі абсцис на рисунку відкладено час у днях від початку року. З таблиці та рисунка видно, цегла поступово насичувалася водою до вологості близько 11%, але у квітні почала висихати, у результаті чого її вологість знову зменшувалася.



Рис. 5.1. Зміни середньої вологості цегли (крапки) та середньодобової вологості повітря (лінія)

5.2. Залежність вологості цегли від вологості повітря

Окрім вологості цегли, на рисунку 5.1 суцільною лінією відображені також зміни середньодобової вологості повітря за даними метеостанції Полтава. З рисунка видно, що від початку експерименту до $t=70$ днів вологість повітря зростала, а пізніше почала зменшуватися. Максимум вологості цегли досягнуто при $t=70$ днів, після чого вона до $t=97$ днів перебувала приблизно на постійному рівні і почала зменшуватися. Таким чином, вологість цегли загалом відображає зміни вологості повітря, але з деякою затримкою і значним осередненням у часі.

Виявлений ефект цілком відповідає фізичній суті сорбційної вологості: матеріал поступово вбирає вологу з повітря чи віддає її назад. Для цього потрібен деякий час, залежний від ступеня гігроскопічності матеріалу, розмірів відкритих пор та інших факторів. Для встановлення зв'язку між вологістю повітря і вологістю цегли необхідно встановити цей інтервал часу, який можна назвати інтервалом інерційності матеріалу.

Інтервал інерційності встановлено за допомогою таблиці 5.2, колонки якої містять наступні дані:

- час у днях від початку року
- середня вологість цегли
- середні вологості повітря для інтервалів довжиною від 1 до 15 днів.

Вологості повітря з інтервалом осереднення один день (середньодобові вологості), обчислені за результатами строкових вимірювань на метеостанції Делтава, наведені для кожного з днів від початку експерименту. Вологості цегли наведені лише для тих днів, у які виконувалися її вимірювання. Вологості повітря з інтервалами згладжування від 2 до 15 днів обчислені як середні значення з середньодобових вологостей за відповідну кількість попередніх днів, включаючи день вимірювання, і вказані для тих днів, коли виконувалися зважування цегли. Результати перших двох зважувань при подальшій обробці не використовувалися, оскільки повністю висушена цегла за цей час ще не встигла увійти в стаціонарний режим. Тому для $t=47$ днів $t=54$ дні осереднені вологості повітря в таблиці 5.2 не наведені.

Таблиця 5.2 Співставлення середньої вологості цегли з вологістю повітря





В останній строці таблиці наведені коефіцієнти кореляції вмісток вологості цегли та вологості повітря з відповідними до колонок інтервалами осереднення від 2 до 15 днів. Залежність цих коефіцієнтів кореляції від інтервалу осереднення температури повітря наведена на рисунку 5.2.



Рис. 5.2. Корельованість вологості цегли з середніми вологостями повітря

З рисунка 5.2 і таблиці 5.2 видно, що при малих інтервалах осереднення вологості повітря вона слабо корелюється з вологістю цегли. Найбільші коефіцієнти кореляції, рівні 0,77-0,88, спостерігаються при інтервалах осереднення від 8 до 10 діб. Очевидно, що правильним значенням інтервалу інерційності матеріалу є саме те значення інтервалу осереднення вологості повітря, при якому вона найкраще корелюється з вологістю цегли. Округливши для зручності використання виявлені значення інтервалу осереднення, приймаємо інтервал інерційності силікатної цегли, рівний 10 дням.

Визначення інтервалу інерційності дозволяє встановити аналітичну залежність вологості цегли від вологості повітря. На рисунку 5.3 збудований графік залежності вологості цегли $W_{Ц}$ від вологості повітря W_{10} з 10-денним періодом осереднення.



Рис. 5.3. Залежність вологості цегли від вологості повітря.

З рисунка видно, що дослідні дані утворюють дещо увігнуту залежність, близьку до прямої лінії. З логічних міркувань апроксимуюча функція цієї залежності повинна проходити через початок координат. Це відповідає тому, що при нульовій вологості повітря протягом 10 днів цегла також повинна повністю висохнути. Для опису можна використати дві залежності, графіки яких зображені на рисунку 5.3, а саме експоненту

$$W_{Ц} = 0,63 \exp(0,035 W_{10}) \quad (5.2)$$

та квадратичну залежність виду

$$W_{Ц} = 0,0074 W_{10} + 0,0015 W_{10}^2 \quad (5.3)$$

З рисунка 5.3 видно, що обидві формули (5.2) і (5.3) досить точно описують залежність, встановлену експериментальним шляхом, і можуть використовуватися для прогнозування вологості силікатної цегли $W_{Ц}$ за 10-денним середнім значенням вологості повітря W_{10} .

5.3. Приклад оцінки можливої вологості цегли

Завдяки виконаним дослідженням прогнозування можливої сорбційної вологості стінових матеріалів зводиться до отримання середньодекадних вологостей повітря та перерахунку їх у вологості матеріалу за формулами типу

(5.2) чи (5.3). Звичайно, для інших матеріалів інтервал інерційності може відрізнятися від десяти діб, а параметри залежностей (5.2) і (5.3) також можуть змінитися, але принцип розрахунку залишається незмінним. Отже, основою прогнозування вологості стінових матеріалів є отримання значень чи розподілів вологості повітря з заданим інтервалом осереднення. При поданні вологості повітря у формі випадкового процесу ця задача зводиться до його інтегрування, може бути вирішена за методикою, розробленою в [19] для осереднення температури повітря.

При наявності реалізацій (послідовності строкових вимірювань чи середньодобових значень) вологості повітря середньодекадні чи інші значення можна отримати шляхом безпосереднього обчислення. Для прикладу розглянемо реалізацію, складену з результатів восьмистрокової вимірювань вологості на метеостанції Полтава на протязі трьох років. В табличному процесорі EXCEL виконане обчислення середньодекадних вологостей шляхом точного осереднення 80 попередніх значень, а також перерахунок їх у значення вологості цегли за формулою (5.3). Результати статистичної обробки усіх трьох отриманих вибірок наведені в таблиці 5.3, а відповідні гістограми розподілу – на рисунках 5.4, 5.5 і 5.6.

Таблиця 5.3 Статистичні характеристики вологості повітря та цегляної стіни



Рис. 5.4. Гістограма розподілу результатів строкових вимірювань вологості повітря на метеостанції Полтава



Рис. 5.5. Гістограма розподілу середньодекадних значень вологості повітря



Гістограма розподілу вологості цегляної стіни

З таблиці випливає, що після вимірювання закон розподілу вологості повітря після вимірювання став більш симетричним до нормального, його математичне сподівання зросло, а стандарт зменшився майже удвічі. Перехід

за формулою (5.3) робить закон розподілу вологості цегли ще ближчим до нормального, а його розмах звузився до меж 2,8% – 14,4%, що цілком відповідає можливим значенням вологості цегляної кладки. На рисунку 5.7 зображені реалізації процесів зміни вологості повітря та вологості стіни протягом усього 2021 року.



Рис. 5.7. Реалізації процесів вологості повітря та цегляної стіни у 2021 році

З рисунка видно, що середньодакдні значення згладжують результати строкових вимірювань. Вологість стіни повторює зміни середньодакдної вологості повітря, але вона у декілька разів менша. Усі процеси зміни вологості повітря та стіни є випадковими, але загалом вологість стіни, відповідно до змін вологості повітря, у літні місяці децю менша, ніж у зимові.

Отримані прогнознi значення, розподіли та статистичні характеристики вологості цегляної кладки стіни можна використовувати для оцінювання її теплопровідності, морозостійкості та інших експлуатаційних параметрів.

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

6.1 Вироби нетоксичні, негорючі, вибухобезпечні.

6.2 У залежності від ефективної сумарної питомої активності природних радіонуклідів (класу застосування) вироби застосовуються відповідно до ДБН В.1.4-1.01.

6.3 Повітря робочої зони у виробничих приміщеннях повинне відповідати вимогам ДСТУ.

6.4 Санітарно-гігієнічні умови праці повинні відповідати ДБН

6.5 Виробничі приміщення повинні бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією згідно з ДСТУ.

6.6 Технологічне обладнання повинне відповідати вимогам ДСТУ.

6.7 Виробничі процеси повинні відповідати вимогам безпеки згідно з ДСТУ.

6.8 Вантажно-розвантажувальні роботи повинні здійснюватися відповідно до вимог ДСТУ.

6.9 Нанесення на виробниче обладнання розпізнавального забарвлення, знаків безпеки слід виконувати згідно з ДСТУ.

6.10 Загальні вимоги захисту працюючих повинні задовольняти вимоги ДСТУ.

6.11 Працюючі повинні бути забезпечені:

- індивідуальними засобами захисту органів дихання згідно з ДСТУ;
- спецодягом згідно з ДСТУ;
- спецвзуттям згідно з ДСТУ;
- засобами індивідуального захисту рук згідно з ДСТУ.

6.12 Робітники повинні проходити інструктаж з охорони праці згідно з "Типовим положенням про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці" і галузевими матеріалами з охорони праці, затвердженими в установленому порядку.

6.13 При виконанні підйимально-транспортних операцій та експлуатації вантажопідйимальних механізмів необхідно дотримуватись вимог ДСТУ.

6.14 Параметри середовища у виробничих приміщеннях повинні відповідати вимогам санітарних і пожежних норм ДСН 3.3.6.037, ДСН 3.3.6.039, ДСН 3.3.6.042, ДБН В.1.1-7.

6.15 Вміст шкідливих речовин у викидах вентиляційних установок в атмосферне повітря не повинен перевищувати норм гранично-допустимих викидів ГДВ, що встановлені для підприємств відповідно до вимог ДСТУ.

6.16 Експлуатація електрообладнання повинна здійснюватись згідно з вимогами ДСТУ, а також відповідно до ПУЕ.

6.17 Цехи повинні бути забезпечені засобами пожежогасіння згідно з правилами пожежної безпеки на промисловому підприємстві.

6.18 Стічні води виробництва повинні відповідати ДСанПіН.

6.19 Тверді відходи виробництва повинні тимчасово зберігатись і видалятись згідно з вимогами ДСанПіН 2.2.7-029.

6.20 Гранично-допустиму концентрацію компонентів у повітрі робочої зони та класи небезпеки згідно з ДСТУ наведено у таблиці 6.

Таблиця 6

РОЗДІЛ 7 ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Натурні експериментальні дослідження дозволили на прикладі силікатної цегли встановити зміни сорбційної вологості стінових матеріалів та пов'язати її зі змінами вологості повітря.
2. Сумісний статистичний аналіз експериментальних даних по зміні вологості цегли та вологості повітря на метеостанції Полтава показав, що вологість цегли досить тісно пов'язана з середньорічною вологістю повітря і дозволив встановити аналітичні залежності (5.2) $W_{\text{ц}} = 0,63 \exp(0,036 W_{10})$ і (5.3) $W_{\text{ц}} = 0,0274 W_{10} + 0,0015 W_{10}^2$ для перерахунку вологості повітря у вологість цегляної стіни.
3. За отриманими аналітичними залежностями виконано прогноз можливої вологості цегляних стін у районі Полтави. Якщо розподіл вологості повітря має виражений асиметричний характер, то розподіл вологості цегли наближається до нормального.
4. Статистичні характеристики вологості стінових матеріалів для довільного географічного району України можна оцінювати за отриманими у результаті досліджень узагальненими характеристиками квазістаціонарного випадкового процесу вологості повітря.
5. Для прогнозування сорбційної вологості інших матеріалів необхідно оцінити їх інтервал інерційності та отримати відповідні перехідні залежності типу (5.2), (5.3), але принципову можливість оцінювання вологості стін будівель за характеристиками вологості повітря можна вважати доказаною.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Глеч С.Г. Теорія ймовірностей та математична статистика: навч. посібник / С.Г. Глеч, С.Ф. Ледаєв, І.В. Ольшанська. Севастополь: СевНТУ, 2011. 176 с.
2. Настанова гідрометерологічним станціям і постам. Випуск 3. Частина 1. Метеорологічні способи вимірювання на станціях. : Видання офіційне – К.: Державна гідрометерологічна служба, 2011. 280 с.
3. Пашинський В. А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції на території України. – К.: УкрНДІПСК, 1999. 185 с.
4. ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013. Настанова з розрахункової шкідливості теплового стану огорожувальних конструкцій. – К.: Мінбуд України, 2013. 66 с.
5. Пашинський В. А. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель / В. А. Пашинський, Н. В. Пушкарь, А. М. Карюк. Одеса: ОДАБА, 2012. 180 с.
6. Утеплення, ремонт та реконструкція плоских покрівель цивільних будівель / Ю. О. Авраменко, М. В. Лещенко, Н. М. Магас [та ін.]; за ред. О. В. Семка. – Полтава: Аструя, 2017. 238 с. ISBN: 978-617-7669-00-7
7. Thermophysical aspects of reconstruction of cold roof spaces / O. Semko, O. Yuriu Yu. Avramenko, S. Sklyarenko // MATEC Web of Conferences. Transbud – 2017 : Structure, Materials and Infrastructure. – Vol. 116 – 2017. – P. 02030 <https://doi.org/10.1051/matecconf/201711602030>
8. Фаренюк Г. Г. Температурні впливи на огорожувальні конструкції за нестационарних умов / Г. Г. Фаренюк, О. І. Філоненко // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудівництво, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – Вип. 2 (44). С. 234–238. <http://journals.pntu.edu.ua/znp/article/view/168>
9. Писаренко О. М. Моделювання нестационарного температурного поля з урахуванням наявності вологи в будівельних матеріалах / О. М. Писаренко, Л. М. Вілінська // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве

машинобудування, будівництво. Полтава : ПолтНТУ, 2016. Вип. 2 (47). С. 198 – 205.

<http://journals.pntu.edu.ua/?p=article/view/86>

10. Білоус О. М. Розрахунок тепловологісного стану зовнішньої огорожувальної конструкції з ніздрюватого бетону / О. М. Білоус // Сучасне промислове та цивільне будівництво. 2013. Вип. 3, Т. 9. С. 163 – 168.
http://nbuv.gov.ua/UJRN/spcb_2013_9_3_6
11. Пашинський В. А. Вплив вологості на характеристики морозостійкості будівельної кераміки / В. А. Пашинський., В. М. Сідой // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник наукових праць. Рівне, 2013. Вип. 26. С. 331 – 337.
12. Пашинський В.А., Ігудьгін В.В., Сушко Р.О., Карюк А.М. Оцінювання довговічності будівельних матеріалів з урахуванням кліматичних впливів // Бетон і залізобетон в Україні. 2004. № 4. с. 13-16
13. Чернявський В. В. Деструктивні фактори впливу на фасадну теплоізоляцію з штукатурним шаром / В. В. Чернявський, О. Б. Борисенко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник наукових праць. Рівне, 2011. Вип. 21. С. 552 -560
14. Чернявський В. В. Аналіз конструктивних розмірів вентиляованого повітряного прошарку у фасадних системах «марморок» / В. В. Чернявський, О. І. Юрін, О. В. Скиба // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. Полтава : ПолтНТУ, 2011. – Вип. 1 (29). С. 189 – 193.
http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpgmb_2011_1_1_37
15. Захарченко П. В. Сучасні методи захисту будівельних матеріалів від дії зовнішніх агресивних факторів / П. В. Захарченко, П. Г. Варшавець // Гудзельні матеріали, виробы та санітарна техніка. 2012. Вип. 45. С. 73 – 75.
http://nbuv.gov.ua/UJRN/omvs_2012_45_16

16. Покращення експлуатаційних властивостей бетонних споруд за рахунок використання гідроізоляційних матеріалів / К. К. Пашкарьова, М. В. Суханевич, К. В. Бондар, А. С. Варшавець // Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка. 2012. Вип. 44. С. 10 – 14.
http://nbuv.gov.ua/UJRN/bmvs_2012_44_3
17. Пашинський В.А. Експериментально-статистичні дослідження характеристик морозостійкості керамичної цегли / Пашинський В.А., Сідей В.М. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Одеса: ОДАБА, 2013. Випуск № 43, частина 2. С. 198-204
18. Григорювський П.С. Аналіз факторів, що впливають на термін життя будівлі в процесі експлуатації. Україна, ДП «Наукowo-дослідний інститут будівельного виробництва ім. В. С. Балицького» С.75-82.
19. ДБН В.1.2-8:2021 Основні вимоги до будівель і споруд. Гігієна, здоров'я та захист довкілля
20. Жидкова Т.В. Будівельна фізика : підручник / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМІ ім. О. М. Бекетова, 2018. 405 с., ISBN 978-966-695-447-6
21. Вітвицька Є. В. Врахування нормативних параметрів клімату міст України у архітектурному проектуванні : навчальний посібник / Є. В. Вітвицька, Д. О. Бондаренко / Під ред. Є. В. Вітвицької. – Одеса : ОДАБА, 2015. 261 с.
22. Класифікація_кліматів_Кеппена [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki/>.
23. ДСТУ Б В.2.7-83:2008 Цегла та камені силікатні. Технічні умови.
24. ДСТУ Б В.2.7-42-97 Будівельні матеріали. Методи визначення водопоглинання, густини і морозостійкості будівельних матеріалів і виробів.
25. ДСТУ ГОСТ 12.4.041-2006 ССБП. Засоби індивідуального захисту органів дихання фільтрувальні. Загальні технічні умови

26. ДБН В.1.2-2:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування
27. ДСН 3.3.6.042-99 Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
28. ДСанПіН 2.2.7-029-99 Державні санітарні правила та норми, гігієнічні вимоги щодо пов'язаності з промисловими відходами, їх класу небезпеки для здоров'я населення.
29. ДСТУ Б В.2.7-248:2011 Матеріали стінові. Методи визначення границь міцності при стиску і згині.
30. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
31. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги.