

ствия максимальных изгибающих моментов. Металлоемкость конструкции снижается также благодаря тому, что прочностные показатели напрягаемой арматуры, например, класса А500С в два раза выше, чем у стали двутавра.

Дополнительный эффект состоит в том, что после осуществления обжатия напрягаемые арматурные стержни совместно с упорами образуют шпренгельное подкрепление, которое по мере роста нагрузки создает дополнительное локальное обжатие.

Проведенные эксперименты позволили выявить, что благодаря шпренгельной схеме работы напрягаемой арматуры потери напряжений в ней вследствие деформаций ползучести, усадки бетона и обжатия меньше, чем при прямолинейном расположении стержней.

Предложен сталежелезобетонный изгибаемый элемент с напрягаемой арматурой класса А500С, упрочняемой непосредственно в конструкции; разработана методика расчетного определения параметров вытяжки арматуры, назначения величин стрелок ее оттягивания на различных этапах вытяжки.

1. Eurocode 4: Расчет и конструирование комплексных несущих конструкций из стали и бетона. ENV 1994-1-1: Пер. с нем. – Полтава: ПГТУ, 1997. – 180 с.

Получено 09.12.2010

УДК 624.042.42

Б.А.КУТНИЙ, канд. техн. наук, І.В.МОЛЬКА

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТАНЕННЯ СНІГУ НА ПОКРІВЛІ

Запропоновано математичну модель танення снігу на покрівлі за рахунок надходжень тепла з приміщення. Виконано порівняння розрахункових даних з експериментальними. Викладена методика може використовуватися для розрахунків інтенсивності танення снігу на покриттях з різними теплотехнічними характеристиками. Результати досліджень можуть бути корисні для аналізу несучої здатності та теплового режиму будівельних конструкцій.

Предлагается математическая модель таяния снега на кровле за счет поступлений тепла из помещения. Выполнено сравнение расчетных данных с экспериментальными. Изложенная методика может быть использована для расчетов интенсивности таяния снега на покрытиях с разными теплотехническими характеристиками. Результаты исследований могут быть полезны для анализа несущей способности и теплового режима строительных конструкций.

The mathematical model of snow thawing on the roof at the expense of heat coming from a premise is offered. Comparison of calculated data with the experimental one is executed. The stated technique can be used for calculations of intensity of snow thawing on roofs with different heat engineering characteristics. Results of researches can be useful to the analysis of bearing ability and the building constructions thermal mode.

Ключові слова: сніг, танення, теплообмін, теплопровідність, покриття, сніговий покрив.

При визначенні величини снігового навантаження на покриття опалюваних будівель слід враховувати можливе підтавання снігу за рахунок теплових потоків, що надходять із приміщення. Для цього необхідно знати закон зміни висоти шару снігу з часом залежно від умов навколишнього середовища, теплового режиму приміщення та теплотехнічних характеристик покриття.

Питанню підтавання снігу на легких покриттях опалюваних будівель у технічній літературі не було приділено достатньої уваги. У фундаментальних роботах з теплотехніки розглядаються питання фазового переходу з рухливою границею поділу фаз [1], теплопередача при стаціонарному та нестационарному тепловому режимах [2-5]. Головним недоліком цих робіт є складність практичного застосування наведених рівнянь та методів їх розв'язку для розрахунків покриття зі сніговим покривом. У роботі [6] авторами пропонувалася спрощена методика таких розрахунків. Проте в ній не було враховано здатність снігу утримувати вологу, що утворюється при таненні і значно впливає на теплофізичні властивості снігу. Не враховувався також розподіл теплових потоків на конвективну та променеву складову, що може відігравати значну роль для «гарячих» цехів із джерелами інтенсивного інфрачервоного випромінювання.

Метою даної роботи є вдосконалення математичної моделі танення снігу на покрівлі.

Для аналізу процесів теплообміну на поверхні та всередині покриття, вкритого шаром снігу, зобразимо розрахункову схему (рис.1).

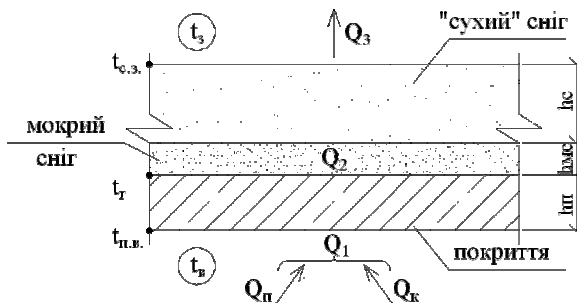


Рис.1 – Розрахункова схема покриття з шаром снігу

Для визначення швидкості танення снігу розглянемо тепловий баланс площини контакту поверхні покрівлі та снігу. З рівняння тепло-

вого балансу маємо

$$Q_2 = Q_1 - Q_3, \quad (1)$$

де Q_1 – тепловий потік, що надходить із приміщення до поверхні контакту снігу з покрівлею, Вт; Q_2 – тепловий потік, що використовується на танення снігу, Вт; Q_3 – тепловий потік, що втрачається з поверхні снігового покриву в навколишнє середовище, Вт.

Тепловий потік, що надходить із приміщення до покрівлі, Вт

$$Q_1 = Q_k + Q_n, \quad (2)$$

де Q_k і Q_n – конвективна й променева складові теплового потоку, Вт [7].

Тепловий потік, що використовується на нагрівання й танення снігу, Вт

$$Q_2 = (r + c(t_2 - t_3)) \frac{dm}{d\tau}, \quad (3)$$

де r – питома теплота танення снігу, Дж/кг; c – питома теплоємність снігу, Дж/(кг·°C); m – маса снігу, кг; $d\tau$ – елементарний проміжок часу, с.

З урахуванням фізичних характеристик снігового покриву швидкість танення снігу, кг/с

$$\frac{dm}{d\tau} = \rho \cdot F \cdot \delta'_c, \quad (4)$$

де ρ – густина снігу, кг/м³; F – площа поверхні, м²; $\delta'_c = \frac{d\delta_c}{d\tau}$ – товщина шару снігу, що розтав за елементарний проміжок часу, м/с.

Тепловий потік, що проходить через шар снігу, Вт

$$Q_3 = \frac{F}{R_c} (t_2 - t_3), \quad (5)$$

де F – площа поверхні, м²; t_2 – температура в пограничному шарі між снігом та покриттям, °C; t_3 – температура зовнішнього повітря, °C; R_c – термічний опір шару снігу, (м²·°C)/Вт.

Опір теплопередачі снігу залежить від його товщини та структури й визначається за формулою, (м²·°C)/Вт

$$R_c = \frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{\delta_{mc}}{\lambda_{mc}}, \quad (6)$$

де α_3 – коефіцієнт теплообміну біля зовнішньої поверхні покриття,

Вт/(м²·°C); δ_{mc} і δ_c – товщина шару мокрого й «сухого» снігу відповідно, м; λ_{mc} і λ_c – коефіцієнт теплопровідності мокрого й «сухого» снігу відповідно, Вт/(м·°C) [8].

Прийнявши початкову товщину шару снігу рівною h_c , можна знайти його товщину на покритті в кожен момент часу, що пройшов після початку танення, м

$$\delta_c = h_c - \int_0^{\tau} \delta'_c d\tau, \quad (7)$$

де h_c – початкова товщина снігу, м; τ – інтервал часу, що пройшов після початку танення снігу, с.

Товщина шару мокрого снігу визначається за формулою, м

$$\delta_{mc} = \frac{\rho_c}{\rho_e} (N_c - N_{mc}) \int_0^{\tau} \delta'_c d\tau, \quad (8)$$

де ρ_c і ρ_e – густина «сухого» снігу та води відповідно, кг/м³; N_c і N_{mc} – щільність «сухого» та мокрого снігу відповідно [8, 9].

Підставляючи значення теплових потоків у рівняння (1), можна знайти лінійну швидкість танення снігу через будь-який інтервал часу після його випадання на покрівлю, м/с

$$\delta'_c = \frac{\left(\alpha_k (t_e - t_{n.e.}) + \alpha_n (t_r - t_{n.e.}) - \frac{(t_2 - t_3)}{R_c} \right)}{\rho_c (r + c(t_2 - t_3))}. \quad (9)$$

Процес танення триватиме доки весь сніг не розтане ($\delta_c = 0$) або температура граничного шару не опуститься до $t_2 < 0^\circ\text{C}$.

Для виконання розрахунків за формулою (9) доцільно використовувати комп'ютерну програму, складену авторами в середовищі QBasic.

Результати розрахунків та їх порівняння з досвідними даними [10] наведено на рис.2, 3.

Таким чином, аналіз отриманих результатів вказує на добре співпадіння теоретичних розрахунків загального часу танення з експериментальними даними. Відхилення на рис.3 викликані мінливістю параметрів зовнішнього повітря, які в розрахунку приймалися сталими. Викладену методику можна використовувати для аналітичного визначення швидкості танення снігу на покрівлі при заданих значеннях температури внутрішнього та зовнішнього повітря, термічного опору по-

криття та фізичних характеристик снігового покриву.

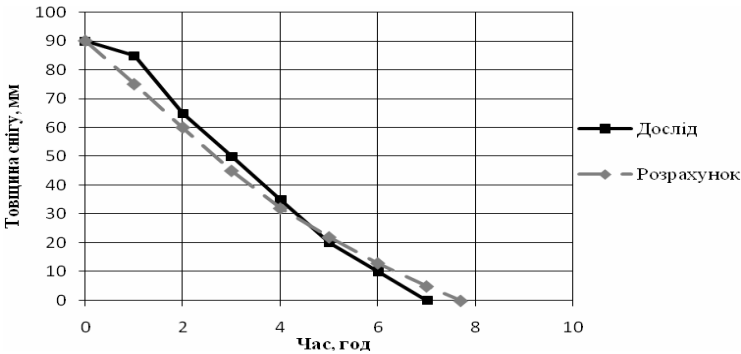


Рис.2 – Зміна товщини снігу з часом на покритті із жерсті

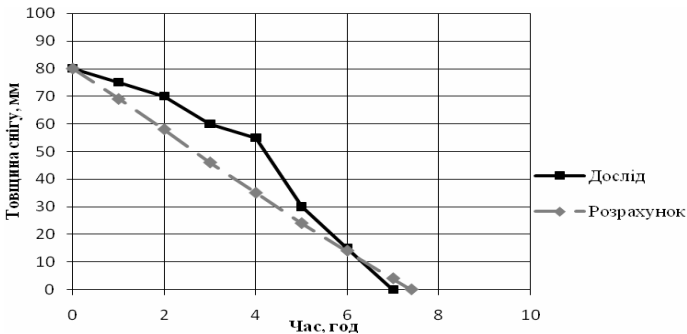


Рис.3 – Зміна товщини снігу з часом на покритті із бетону

1. Stephan, Ann. Phys. U. Chem. (Wiedemann) (N.F.) 42, 269-286 (1891).
2. Карслоу Г. Теплопроводность твердых тел: Пер. с англ. под ред. А.А. Померанцева / Г. Карслоу, Д. Егер. – М.: Наука, 1964. – 291 с.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высш. шк., 1967. – 599 с.
4. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.-Л.: Энергия, 1965. – 424 с.
5. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей здания / К.Ф. Фокин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.
6. Молька І.В. Визначення швидкості танення снігу на покрівлі / І.В. Молька, Б.А. Кутний // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – Макіївка: ДонНАБА, 2009. – Т.5, №4. – С.173-178.
7. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. – 2-е изд., перераб. и доп. / В.Н. Богословский. – М.: Высш. шк., 1982. – 415 с.
8. Козлов Д.В. Основы гидрофизики / Д.В. Козлов. – М.: МГУП, 2004. – 242 с.

9.Чеботарев А.И. Общая гидрология / А.И. Чеботарев. – Л.: Гидрометеоздат, 1975. – 543 с.

10.Молька І.В. Методика експериментальних досліджень інтенсивності танення снігу на покриттях різних типів / І. В. Молька // Галузеве машинобудування, будівництво: Зб. наук. праць. Вип. 20. – Полтава: ПНТУ, 2007. – С.101-106.

Отримано 17.11.2010

УДК 62.523.2.534.1

В.О.ПУШНЯ, канд. техн. наук, С.В.ВЕНЖИК
Харківська національна академія міського господарства

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПОХИБОК ПРИ ВІБРАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАННЯХ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ РОБОТИ ВІБРОСТЕНДА

Виконано дослідження електродинамічних віброперетворювачів методом комплексного коефіцієнта передачі, які навантажені об'єктами з багатьма степенями свободи. Проведення таких досліджень дозволяє зменшити час вібраційних випробувань і підвищити їх точність.

Выполнены исследования электродинамических вибропреобразователей методом комплексного коэффициента передачи, которые нагружены объектами с многими степенями свободы. Проведение таких исследований позволяет уменьшить время вибрационных испытаний и повысить их точность.

Principles of research of the simple systems are considered can be applied for the analysis tests of difficult objects which are the mechanical oscillating systems with many degrees of liberty. Conducting of such research enables to untie the row of important tasks of vibroviprobuvan. Conducting an analysis of the difficult systems is by the complex coefficient of transmissions.

Ключові слова: коливальна система, електродинамічний вібростенд(ЕДВ), чотирьохполюсник, комплексний коефіцієнт передачі, гіратор.

Метою роботи є розробка методу дослідження системи вібраційних випробувань навантаженої об'єктом випробувань з декількома ступенями вільності [1-5]. Недоліком цих методів є використання для дослідження методу передавальних функцій. Автори пропонують новий метод дослідження за допомогою комплексного коефіцієнту передачі.

Нехай об'єкт, що підлягає випробуванням представляє собою трьохмасову коливальну систему з масами m_1 , m_2 , m_3 , причому маса m_1 жорстко закріплена до рухомого столу вібростенда з масою m , а маси m_1 і m_2 , та m_2 , m_3 , з'єднані між собою пружними елементами з жорсткостями c_2 , c_3 відповідно. Пружній підвіс стола вібростенду має жорсткість c_1 . Демпфірування механічної системи знехтуємо. Схема такої системи подана на рис.1.

Позначимо швидкості мас відповідно через V_1 , V_2 , V_3 і побудуємо схему заміщення (рис.2). Тут жорсткості c_2 і c_3 включено до попере-