

ЕФЕКТИВНІСТЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ВІДКЛАДЕНЬ СНІГУ В МІСЦЯХ ПЕРЕПАДІВ ВИСОТ БУДІВЕЛЬ

У статті проаналізовано вплив підвищених накопичень снігу на зміну зусиль в елементах кроквяних ферм. Наведено чисельну оцінку зменшення матеріалоемності конструкцій покрівлі завдяки оптимізації параметрів снігових мішків у місцях перепадів висот будівель.

Ключові слова: снігове навантаження, перепад висоти, коефіцієнт сполучення, кроквяна ферма.

Постановка проблеми. Підвищені накопичення снігу в місцях перепадів висот будівель (снігові мішки) є одним з найбільш важливих випадків снігового навантаження на будівельні конструкції. Особливої актуальності проблема перевантаження будівельних конструкцій надлишковими відкладами снігу набула з уведенням у 2007 році нормативного документа [8]. Так, відповідно до нових норм, снігове навантаження на поверхні ґрунту для деяких географічних районів України було збільшене у понад 2 рази, що також призвело до зростання ваги снігових мішків. Це у свою чергу сприяло підвищенню матеріалоемності нових конструкцій та зниженню розрахункової несучої здатності існуючих конструкцій, запроєктованих ще за радянськими нормами [9]. Тому постає питання оптимізації снігового навантаження в місцях перепадів висот будівель з метою розв'язання окреслених вище проблем.

Аналіз останніх досліджень. Залежність внутрішніх зусиль в елементах сталевих кроквяних ферм від різних за параметрами снігових мішків досліджена в [1]. Також проаналізовано зміну матеріалоемності сталевих кроквяних конструкцій та зусиль у відповідних їх елементах [5] внаслідок переходу від снігового навантаження за нормативним документом [9] до снігового навантаження за українськими нормами [8]. Важливим кроком до зниження та перерозподілу снігового навантаження в місцях перепадів висот будівель було створення ймовірнісної моделі снігових мішків [2], отримання коефіцієнтів сполучення для надлишкових снігонакопичень та розроблення інженерної методики застосування цих коефіцієнтів [4].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Після обґрунтування можливості зменшення параметрів снігових мішків та розроблення відповідної інженерної методики [4] постало питання кількісного оцінювання ефективності запропонованих рішень. Адже не зовсім зрозуміло, як цей підхід вплине на зміну зусиль в елементах кроквяних конструкцій. Таке оцінювання доцільно провести на прикладі легких сталевих кроквяних ферм, що є найбільш чутливими до локального перевантаження [6].

Формулювання цілей статті. Метою статті є оцінка ефективності уточнення у бік зменшення снігового навантаження в місцях перепадів висот унаслідок застосування ймовірнісно обґрунтованих коефіцієнтів сполучення.

Виклад основного матеріалу. Для проведення порівняльного аналізу вибрані кроквяні ферми існуючих будівель: ферма прольотом 45 м; ферма зі шпренгельними елементами сталеливарного цеху прольотом 24 м та ферма виробничої будівлі прольотом 24 м (рис. 1).

На прикладі першої та другої конструкцій було досліджено зміну поздовжньої сили в елементах кроквяних ферм. При цьому прикладались такі вузлові навантаження (рис. 1): власна вага конструкцій; рівномірне снігове навантаження; навантаження від снігового мішка з максимальними параметрами й навантаження від снігового мішка зі зменшеними параметрами.

Граничне розрахункове снігове навантаження відповідно до норм [8] приймалося для м. Київ і дорівнювало 1,612 кПа ($S_0 = 1,55$ кПа, $\gamma_{fm} = 1,04$ для періоду експлуатації промислових будівель 60 років). Збір вузлового навантаження та статичний розрахунок ферм проводилися відповідно до роботи [6] і нормативного документа [7] методом скінченних елементів.

Більш детально розглянемо зменшення параметрів снігового мішка згідно із запропонованою інженерною методикою. У нашому випадку ферми завантажені сніговим мішком із такими параметрами: максимальна ордината $\mu = 4$, мінімальне значення $\mu_1 = 0,2$, довжина зони підвищених сніговідкладень $b = 16$ м.

Рівномірне снігове навантаження

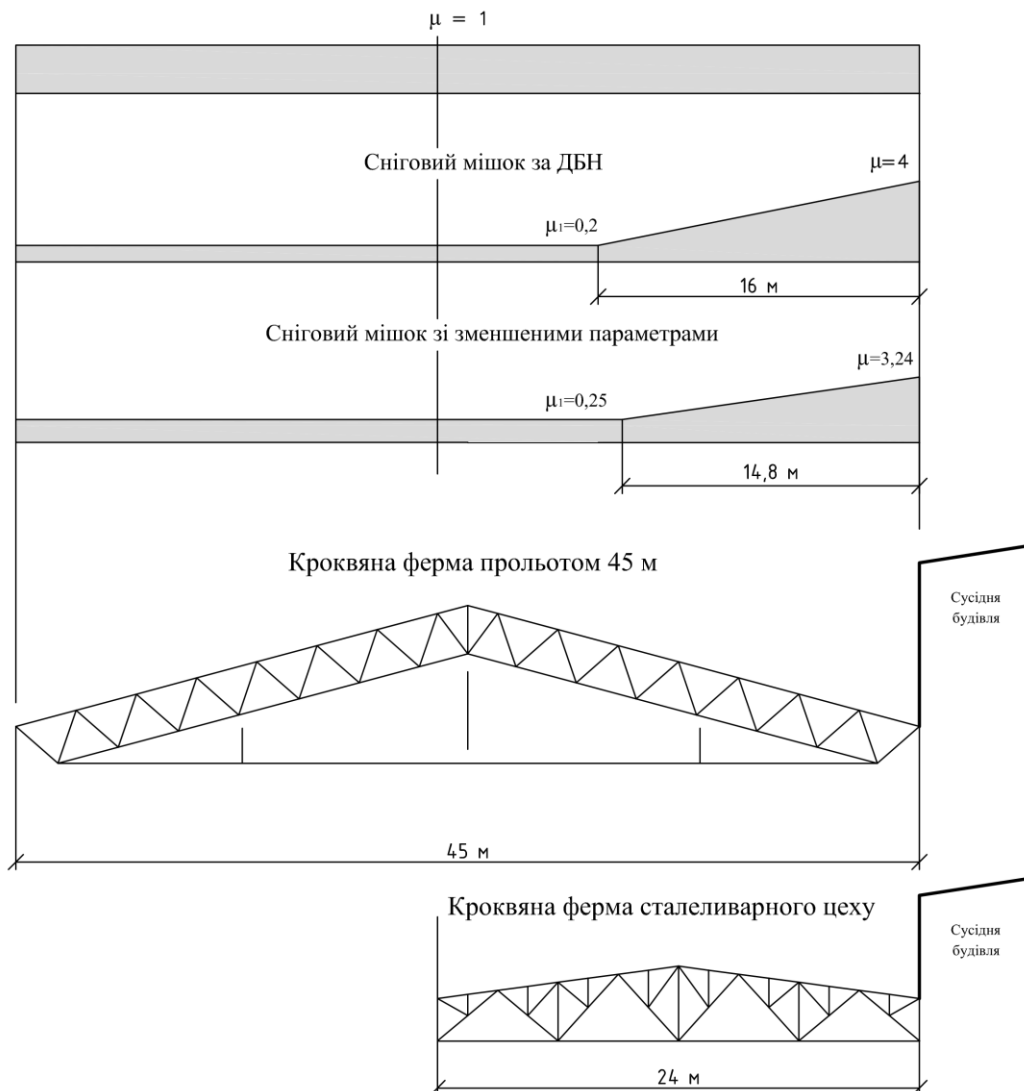


Рисунок 1 – Схеми ферм та прикладене до них снігове навантаження

Беручи до уваги коефіцієнт сполучення для м. Київ $\gamma_{sb} = 0,76$, застосуємо залежності [4]:

$$\mu_{sb} = \mu(\gamma_{sb} + 0,05) = 4 \cdot (0,76 + 0,05) = 3,24;$$

$$\mu_{1sb} = \frac{\mu_1}{(\gamma_{sb} + 0,05)} = \frac{0,2}{0,76 + 0,05} = 0,25;$$

$$b_{sb} = b(0,2\gamma_{sb} + 0,77) = 16 \cdot (0,2 \cdot 0,76 + 0,77) = 14,8.$$

Не зупиняючись на статичних розрахунках, проаналізуємо максимальні зусилля в стрижнях кроквяних конструкцій. Досить несподіваними були результати визначення зусиль в елементах великопролітної (45 м) ферми з затяжкою. Так, з'ясувалося, що при зменшенні параметрів снігового мішка цю конструкцію можна розраховувати тільки на рівномірне снігове навантаження, зусилля від якого є на 1–44% більшими (табл. 1, рис. 2).

Таблиця 1 – Зусилля в елементах ферми прольотом 45 м

Елемент	Зусилля при рівномірному сніговому навантаженні N_1 , кН	Зусилля при навантаженні від снігового мішка за ДБН N_2 , кН	Зусилля при навантаженні від зменшеного снігового мішка N_3 , кН
Верхній пояс	-684,7	-709,3	-618,0
Нижній пояс	-255,5	-240,8	-213,4
Затяг	614,1	451,3	425,2
Опорний розкіс	-268,3	-312,5	-263,9
Решітка	399,0	452,8	396,1

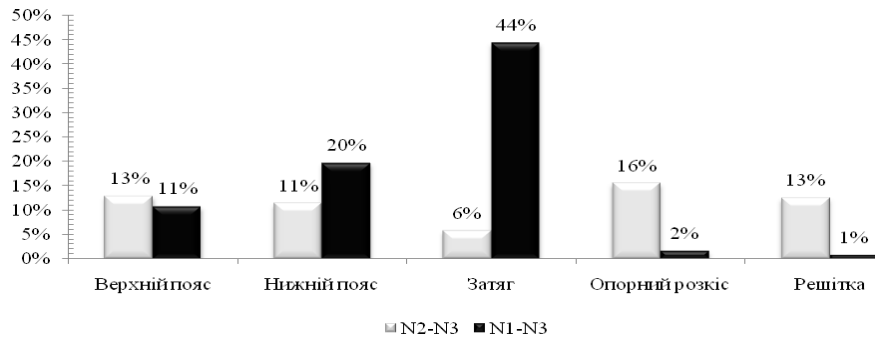


Рисунок 2 – Відсоток зменшення зусиль в елементах ферми

У процесі зменшення параметрів снігового мішка спостерігалось зниження значень поздовжньої сили в елементах ферми на 6–16% (див. рис. 2).

Дещо інші результати дав розрахунок ферми зі шпренгельними елементами прольотом 24 м. У цьому випадку максимальні зусилля (ті, що використовуються при підборі перерізів елементів) від обох варіантів параметрів снігових мішків на 3–72% перевищували аналогічні значення від рівномірного снігового навантаження. Тому тут мова йшла лише про певне зниження зусиль від дії підвищених сніговідкладень, що становило від 8 до 11 % (табл. 2, рис. 3).

Таблиця 2 – Зусилля в елементах ферми прольотом 24 м

Елемент	Зусилля при рівномірному сніговому навантаженні N_1 , кН	Зусилля при навантаженні від снігового мішка за ДБН N_2 , кН	Зусилля при навантаженні від зменшеного снігового мішка N_3 , кН
Верхній пояс	-724,8	-845,94	-774,66
Нижній пояс	732,28	831,4	766,58
Опорний розкіс	-587,17	-736,92	-672,48
Шпренгельні елементи	-53,7	-92,1	-82,1
Стійки	-107,4	-153,15	-137,6
Розкоси	316,72	354,6	327,06

Таким чином, зрозуміло, що для великопролітної конструкції вплив підвищених сніговідкладень у місці перепаду висот є менш суттєвим, ніж для ферми прольотом 24 м. Це пов'язано з тим, що у першому випадку ферма сприймає мішок лише на третині довжини, решта ж знаходиться під впливом значно меншого снігового навантаження з $\mu_1 = 0,2$. У другому випадку навантаження від снігового мішка діє на 65% довжини конструкції, що і призводить до значного (на 12–72%) збільшення зусиль у її елементах.

Наступним етапом оцінювання ефективності зменшення параметрів підвищених скупчень снігу було визначення економії матеріалів. Для цього використовувалася кроквяна ферма виробничої будівлі прольотом 24 м [3]. Крім чотирьох завантажень, що застосовувалися для попередніх конструкцій, ця ферма також була розрахована на дію снігового мішка відповідно до нормативу [9] з максимальними параметрами $\mu = 4$, мінімальне значення $\mu_1 = 0,5$, довжина зони підвищених сніговідкладень $b = 15$ м

(рис. 4). Мета розрахунку – оцінка зміни зусиль при переході від навантаження за старими нормами до навантаження за нормами [8]. Адже відомі випадки, коли конструкції, запроектовані за СНиП, при збільшенні снігового навантаження, викликаному введенням нових норм, втрачали розрахункову несучу здатність.

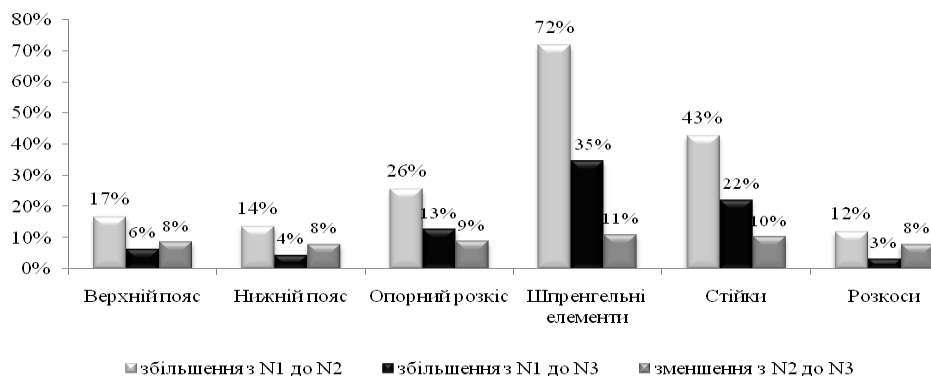


Рисунок 3 – Відсоток зміни зусиль в елементах ферми

Як свідчать дані табл. 4, при переході від рівномірного до підвищеного снігового навантаження зусилля в більшості елементів ферми зростають на 25–76%, їх зменшення в деяких елементах на 38–48% пояснюється заниженим навантаження у зоні поза сніговим мішком.

Результати статичного розрахунку наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Зусилля в елементах ферми прольотом 24 м

Елемент	Зусилля при рівномірному сніговому навантаженні N_1 , кН	Зусилля при навантаженні від снігового мішка за ДБН N_2 , кН	Зусилля при навантаженні від зменшеного снігового мішка N_3 , кН	Зусилля при навантаженні від снігового мішка за СНиП N_4 , кН
Верхній пояс	-604,5	-754,3	-650,7	-540,5
Нижній пояс	584,1	728,8	628,8	522,3
2-5	-120,9	-63,1	-67,5	-71,6
2-6	-62,3	-38,9	-37	-38,4
2-7	149,6	88,3	87,1	91,0
3-7	149,6	221,6	188,1	149,3
3-8	-62,3	-83,7	-71,2	-51,1
3-9	-120,9	-212,3	-179,7	-136,4

(х), (х) – значення, прийняті для підбору перерізів

Таблиця 4 – Відсоток зміни зусиль в елементах ферми при різних завантаженнях*

Елемент	Δ_{N1-N2} , %	Δ_{N2-N3} , %	Δ_{N3-N4} , %	Δ_{N2-N4} , %	Перерізи елементів при N_2	Перерізи елементів при N_3
Верхній пояс	25	-14	17	40	2С27	2С24
Нижній пояс	25	-14	17	40	2L100×8	2L100×7
2-5	-48	7	-6	-12	2 L 80×7	
2-6	-38	-5	-4	1	2 L 63×6	
2-7	-41	-1	-4	-3	2 L 63×6	
3-7	48	-15	21	48	2 L 63×6	
3-8	34	-15	28	64	2 L 63×6	
3-9	76	-15	24	56	2 L 90×8	2 L 90×7

*знак «-» вказує на зменшення зусилля

У той же час при зменшенні параметрів надлишкових сніговідкладень у місці перепаду висот спостерігається зниження поздовжньої сили в елементах на 1–15%.

При переході від підвищеного снігового навантаження за нормативним документом [9] до аналогічної величини за нормами [8] відбувається підвищення зусиль у поясах ферми на 40%, у решітці – на 48–56%. Зменшення параметрів снігового мішка дозволяє знизити цю різницю відповідно до 17% у поясах та до 21–28% – в елементах решітки. При цьому відповідне незначне збільшення поздовжньої сили у деяких елементах пов'язане зі зростанням навантаження в позамішквій зоні. Тому застосування коефіцієнтів сполучення може бути корисним при перевірних розрахунках існуючих конструкцій, запроектованих на занижене снігове навантаження відповідно до СНиП. Зменшення зусиль в елементах таких конструкцій допоможе забезпечити їх несучу здатність.

Зниження зусиль в елементах ферм неминуче призводить до зменшення їх матеріалоемності. Так за результатами статичного розрахунку (табл. 3) відповідно до рекомендацій [6] були підібрані перерізи елементів. При цьому в першому варіанті вибрані максимальні зусилля в стрижнях при дії рівномірного та підвищеного снігового навантажень за ДБН, а в другому випадку разом з рівномірним навантаженням використані значення поздовжньої сили від дії зменшеного снігового мішка.

Рівномірне снігове навантаження

$$\mu = 1$$

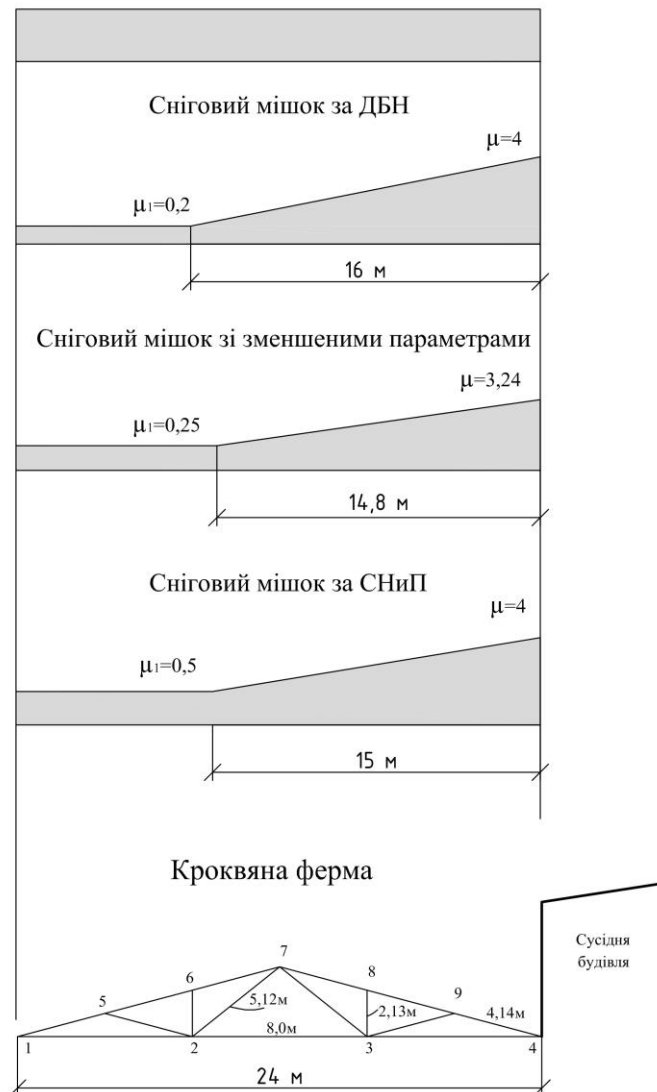


Рисунок 4 – Схема кроквяної ферми та варіанти прикладеного до неї снігового навантаження

Через невеликі зусилля перерізи деяких елементів прийняті з конструктивних міркувань, переріз стрижня 2–5 збігся для обох варіантів. Решта перерізів наведені в табл. 4. За довжинами стрижнів та відомими типорозмірами профілів металопрокату визначено масу ферм (табл. 5).

Таблиця 5 – Визначення маси ферм для розрахункових варіантів

Елемент	Довжина елемента, м	Варіант 1 (сніговий мішок за ДБН)		Варіант 2 (зменшений сніговий мішок)		Маса елементів, кг	
		Переріз	маса 1 м, кг	Переріз	маса 1 м, кг	Вар. 1	Вар. 2
Верхній пояс	24,84	2С27	55,4	2С24	48	1376	1192
Нижній пояс	24	2L100×8	24,4	2L100×7	21,6	586	518
2-5	4,14	2L 80×7	17,02	2L80×7	17,02	70	70
2-6	2,13	2L 63×6	11,44	2L63×6	11,44	24	24
2-7	5,12	2L 63×6	11,44	2L63×6	11,44	59	59
3-7	5,12	2L 63×6	11,44	2L63×6	11,44	59	59
3-8	2,13	2L 63×6	11,44	2L63×6	11,44	24	24
3-9	4,14	2L 90×8	21,8	2L90×7	19,28	90	80
Маса ферми (без урахування фасонки та зварних швів), кг						2288	2027

Отже, економія сталі на одній фермі даного виду складає 261 кг сталі, або 11%. Для усієї будівлі (9 ферм) зменшення матеріалоемності складе майже 2,4 т.

Висновки. Таким чином, встановлено, що застосування коефіцієнтів сполучення дозволило зменшити зусилля в елементах розглянутих кроквяних ферм на величину до 16% та матеріалоемність конструкцій у межах 11%. Крім того, виникає можливість знижувати розрахункове снігове навантаження на конструкції будівель, що проектувалися за нормативним документом [9].

Література

1. Аналіз навантажень на легке покриття при наявності перепадів висот покрівель виробничих цехів / С.Ф. Пічугін, О.В. Семко, А.В. Гасенко, Ю.В. Дрижирук // Сб. науч. трудов «Строительство, материаловедение, машиностроение». – Д.: ПГАСА, 2011. – Вып. 61. – С. 320 – 325.
2. Пічугін, С.Ф. Імовірнісна модель снігового навантаження в місцях перепадів висот будівель / С.Ф. Пічугін, Ю.В. Дрижирук // Збірник наукових праць УкрНДІПСК імені В.М. Шимановського. – К.: Сталь, 2010. – Вып. 6. – С. 53 – 63.
3. Пічугін, С.Ф. Урахування підвищеного снігового навантаження в місцях перепаду висот, що створюються при добудові та реконструкції будівель / С.Ф. Пічугін, Ю.В. Дрижирук // Сб. науч. трудов «Строительство, материаловедение, машиностроение. «Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения». – Д.: ПГАСА, 2007. – №43. – С. 371 – 375.
4. Дрижирук, Ю.В. Імовірнісний опис снігового навантаження на покрівлі будівель із перепадами висот : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Ю.В. Дрижирук; ПолтНТУ. – Полтава, 2011. – 23 с.
5. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В.Н. Гордеев, А.И. Лантух-Лященко, В.А. Пашинский, А.В. Перельмутер, С.Ф. Пичугин; под общей ред. А.В. Перельмутера. – М.: Изд. ДМК Пресс, 2009. – 528 с.
6. Мандриков, А.П. Примеры расчета металлических конструкций / А.П. Мандриков. – М.: Стройиздат, 1991. – 431 с.
7. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.
8. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи: чинний з 2007-01-01. – К.: Мінбуд України, 2006. – 59 с.
9. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 36 с.

Надійшла до редакції 12.12. 2011

© С.Ф. Пічугін, Ю.В. Дрижирук

С.Ф. Пичугин, д.т.н., профессор, Ю.В. Дрижирук, к.т.н.

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ОТЛОЖЕНИЙ СНЕГА В МЕСТАХ ПЕРЕПАДОВ ВЫСОТ ЗДАНИЙ

В статье проанализировано влияние повышенных накоплений снега на изменение усилий в элементах стропильных ферм. Приведена численная оценка уменьшения материалоемкости конструкций кровли вследствие оптимизации параметров снеговых мешков в местах перепадов высот зданий.

Ключевые слова: *снеговая нагрузка, перепад высоты, коэффициент сочетания, стропильная ферма.*

S.F. Pichugin, Sc.D., Yu.V. Dryzhyruk, Ph.D.

Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk

EFFICIENCY OF PARAMETRE OPTIMISATION OF SNOW ACCUMULATIONS IN PLACES OF HEIGHT DIFFERENCES OF BUILDINGS

The article gives an analysis of influence of the raised snow accumulations on change of internal forces in roof trusses elements. A numerical estimate of materials consumption reducing of roof structures as a result of parametre optimization of snow bags in places of height differences of buildings is carried out.

Keywords: *snow loading, height difference, connection ratio, roof truss.*