

Глава I СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА.

I.1. Основни способности за оценка на надеждността на строителните конструкции

Направен е преглед на развитието на идеята за прилагане на стохастичен подход при оценката на надеждността на строителните конструкции. Проследено е развитието ѝ от публикациите на Майер и Хоциалов през тридесетте години на миналия век до системата за конструктивно проектиране на Еврокодовете.

Изложена е основната идея за гарантиране на надеждността на строителните конструкции чрез системата на Еврокодовете. Тя е развита най-последователно в EN 1990:.. Разгледани са въпросите за:

- алтернативните варианти за комбинирането на краткотрайните и продължителни товари при проверка по крайно гранично състояние (формули 6.10 или двойката 6.10a и 6.10b);
- гарантирането на различно ниво на сигурност чрез използване на коефициента γ_{FI} .

Отделено е особено внимание на Приложение С на БДС EN 1990. В него за пръв път в нормативен документ се дава възможност да се използва показателя на надеждност β за оценка на нивото на безопасност.

I.2. Приложни софтуерни продукти

Във втората част на глава I са представени три програмни продукти за оценка на надеждността на строителните конструкции:

- CodeCal 3 на Обединения комитет за сигурност на строителните конструкции JCSS;
- системата SBRA, използваща генерирането на случайни числа за моделиране на случайните функции;
- @Risk – програмен продукт за анализ на риска при финансови задачи, свързани с инвестиционния процес.

Изложени са техните възможности и ограничения.

I.3. Цели и обхват на дисертацията

Целта на дисертационния труд е да се изследва надеждността на строителните конструкции, проектирани и изпълнени у нас в последните 25 – 30 години. Това изследване предполага използването на софтуерни продукти, свързани с:

- оценката на атмосферните товари и въздействия в страната;
- подготовка на входните данни за статическото решение на изследвания тип строителни конструкции;

- обработка на резултатите от статическите решения и оразмеряване на елементите на стоманените ферми;
- оценката на показателя на надеждност на конструктивните елементи.

От огромния обем на задачата за глобална оценка на надеждността на строителните конструкции в дисертационния труд са изследвани стоманени ферми с отвори 18, 24 и 30 метра. Изчисленията са проведени за десет населени места с различни климатични условия: Бургас, Варна, Видин, Петрич, Плевен, Пловдив, Русе, Свищов, София и Стара Загора. В тези десет града е съсредоточена значителна част от населението и на сградния фонд на страната. Включени са райони с мек климат: Бургас, Варна, Петрич, Пловдив, Стара Загора и райони с типичен континентален климат: Видин, Свищов, Плевен и Русе. От климатологична гледна точка, районът на София е също интересен, защото е разположен на високо поле в южната част на страната.

Направен е анализ на получените резултати и са предложени подходи за подобряване на нивото на показателя на надеждност β в някои райони на страната.

Дисертационният труд е разделен на пет глави както следва:

Глава I. Състояние на проблема.

Глава II. Определяне на нормативните и характеристичните натоварвания от сняг със зададен среден период за превишение

Глава III. Софтуерни решения, разработени за решаване на задачите в дисертационния труд

Глава IV. Оценка на показателя на надеждност β на стоманени покривни ферми

Глава V. Изводи от получените нива на показателя на надеждност β и предложения за подобряването им

I.4. Актуалност на решаваната задача

Гарантирането на приемливото за дадено общество ниво на надеждност на строителните конструкции е изключително важна и трудна за решаване задача. Ниското ниво на надеждност позволява да се проектират и изграждат по-евтини сгради и съоръжения, но при него сигурността при екстремни товари и въздействия е по-малка. Повишаването на нивото на надеждност изисква по-големи средства при изграждането, но гарантира по-голяма безопасност в процеса на експлоатацията. В зависимост от икономическите си възможности даденото общество определя целесъобразното ниво на сигурност.

Предстоящото преминаване на страните от Европейския съюз към единната система за конструктивно строително проектиране – Еврокодове, стимулира сравнителни изследвания на нивата на надеждност. Сравнява се нивото, постигано от действащите в момента национални норми с това, което ще се получи след въвеждането на общата система за конструктивно проектиране.

Въпреки постигнатата степен на унифициране на Еврокодовете, в тях е оставена възможност за национален избор на национално определените параметри и на алтернативни процедури за някои изчисления. По този начин се отчита разликата в климатичните условия в страните членки на ЕС и някои особености в традициите и

техническите възможности в областта на строителното проектиране и строително производство.

Проблемите, които се разглеждат в дисертационния труд, са с актуална практическа насоченост, свързана непосредствено с задачите за хармонизиране на нашата нормативна база в областта на проектирането на строителните конструкции с конструктивната система на Еврокодовете.

Глава II ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НОРМАТИВНИТЕ И ХАРАКТЕРИСТИЧНИТЕ НАТОВАРВАНИЯ ОТ СНЯГ СЪС ЗАДАДЕН СРЕДЕН ПЕРИОД ЗА ПРЕВИШЕНИЕ

II.1. Определяне на височината на снежната покривка със зададен среден период за превишение

Изследвани са статистическите редици на годишните максимуми на снежната покривка за 28 населени места в страната. От тях с регресионен анализ по метода на най-малките квадрати са определени най-подходящите измежду използваните при районирането на страните от Европейския съюз за натоварване от сняг. Това са функциите на: Гумбел, Фреше, Вейбул и логнормално разпределение. Функциите на първите три разпределение имат вида:

$$F(x) = \exp\{-\exp[-(x-\mu)/\beta]\} \quad \text{I тип (Гумбел)} \quad \text{II 1}$$

$$F(x) = \exp\left[-(\lambda/x)^k\right] \quad \text{II тип (Фреше)} \quad \text{II 2}$$

$$F(x) = 1 - \exp\left[-(x/\lambda)^k\right] \quad \text{III тип (Вейбул)} \quad \text{II 3}$$

където:

μ , β , λ и k са параметри на разпределенията.

Функцията на логнормалното разпределение има вида:

$$F(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \text{erf} \left[\frac{\ln(H) - \mu_{\ln H}}{\sigma_{\ln H} \sqrt{2}} \right] \quad \text{логнормално разпределение} \quad \text{II 4}$$

$$\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

където:

$\mu_{\ln H}$ е математическото очакване на натуралния логаритъм на височината - $\ln H$;

$\sigma_{\ln H}$ е средноквадратичното отклонение на $\ln H$;

Ако логаритмуваме двукратно формули II 1, II 2 и II 3 се получава:

$$\ln\{-\ln[F(x)]\} = ax + b \quad \text{I тип (Гумбел)} \quad \text{II 1a}$$

$$\ln\{-\ln[F(x)]\} = a \ln(x) + b \quad \text{II тип (Фреше)} \quad \text{II 2a}$$

$$\ln\{-\ln[1-F(x)]\} = a \ln(x) + b \quad \text{III тип (Вейбул)} \quad \text{II 3a}$$

С методите на линейния регресионен анализ се определят стойностите на коефициентите a и b , при които сумата от квадратите на отклоненията между статистическите данни и правата линия е минимална.

Аналогично може да се използва линейният регресионен анализ за определяне на параметрите и на логнормалното разпределение. За него:

- по абсцисата се нанасят натуралните логаритми на височината на снежната покривка за съответните годишни максимуми;
- по ординатата се нанася стойността на обратната функция на стандартизираното нормално (Гаусово) разпределение, за вероятността съответният годишен максимум да не бъде надвишен в течение на една година;
- с помощта на регресионния анализ се определят параметрите на линейната функция, която минава най-близо до получените точки.

$$F_U^{-1} \left[F_U \left(\frac{\ln(H) - \mu_{\ln H}}{\sigma_{\ln H}} \right) \right] = a \ln(H) + b \quad \text{логнормално разпределение} \quad \text{II 4a}$$

където:

F^{-1} обратната функция на стандартизираното Гаусово разпределение;

$\mu_{\ln H}$ е математическото очакване на $\ln H$;

$\sigma_{\ln H}$ е средноквадратичното отклонение на $\ln H$;

За определянето на височината на снежната покривка със зададен среден период на превишение N години се използват следните зависимости:

$$F(x) = 1 - \frac{1}{N} \quad \text{II 5}$$

$$H_N = \frac{\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{N} \right) \right] - b}{a} \quad \text{за разпределение тип I (Гумбел)} \quad \text{II 6}$$

$$H_N = \exp \left\{ \frac{\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{N} \right) \right] - b}{a} \right\} \quad \text{за разпределение тип II (Фреше)} \quad \text{II 7}$$

$$H_N = \exp \left\{ \frac{\ln \left[-\ln \left(\frac{1}{N} \right) \right] - b}{a} \right\} \quad \text{за разпределение тип III (Вейбул)} \quad \text{II 8}$$

$$H_N = \exp \left[\frac{F^{-1} \left(1 - \frac{1}{N} \right) - b}{a} \right] \quad \text{за логнормално разпределение} \quad \text{II (9)}$$

където:

H_N е височината на снежната покривка със среден период на превишение N години.

В таблица II 6 са показани обобщените резултати от изследването на 28 населени места за най-подходящата функция на разпределение и височини с период на превишение 25 и 50 години. Това отговаря на периодите използвани за определяне на нормативните товари в Наредба №3 и на характеристикните в EN 1991-1-3.

Сравнението между получените резултати за 28 населени места с данните на НИМХ за Наредба №3 [15] показват, че:

- за 6 населени места (Видин, Пазарджик, Пловдив, Русе и Свищов) разликата е по-малка от 10%;
- за 9 населени места (В. Търново, Враца, Габрово, Плевен, Силистра, София, Ст. Загора, Шумен и Ямбол) височината предложена от НИМХ е по-висока с повече от 10%;
- за 8 от случаите (Бургас, Варна, Кюстендил, Перник, Сливен, Смолян, Хасково и Чирпан) разликата е в обратна посока с повече от 10%;
- за 4 района в Климатичния справочник [11] няма данни и са взети населени места близки до тези от [15].

Определено безпокойство буди ниската стойност на височините, предложени от НИМХ за районите на Варна и Бургас. Те са няколко пъти по-малки от измерените абсолютни максимуми – 80 cm и около 1,5 пъти по-ниски от получените в това изследване. Това се дължи на различните периоди, използвани в двата случая. Данните от Климатичния справочник [11] от 1931-1970 година обхващат редица години със сурови зими през 40^{те} и 50^{те} години на миналия век. За районирането на страната за Наредба № 3 е използван периода 1970 – 2000 година. Той е по-къс и с по-меки зими.

Световната Метеорологична организация препоръчва да се работи с периоди от последните 30 години, за да се отчете ефектът от изменението на климата под влияние на парниковия ефект. Това е правилно, когато се правят климатологични изследвания, но за определяне на натоварването върху строителните конструкции, които се експлоатират в течение на десетилетия, този подход е доста рискован. Редица екстремни случаи на валежи от сняг и дъжд през последните години показват, че затоплянето не води до намаляване на отклоненията към екстремни стойности.

От друга страна приемането на височини, близки до абсолютния максимум при запазване на единната за цялата страна плътност от 2 kN/m³ ще доведе до високи резултати. Както показват изследванията в Хърватска [67], проблемът с плътността на снега за районите по морското крайбрежие е изключително сложен. Необходимо е да се пристъпи към събиране на метеорологични данни за районите на Черноморието и част от Южна България с едновременно измерване на теглото и височината на снежната покривка. Тези райони са характеризират с кратко задържане на снега и той не може да се уплътни за да достигне стойности на

плътността от 2 kN/m^3 . Такива паралелни измервания ще позволят да се определят достатъчно сигурни и едновременно с това икономични стойности на натоварването от сняг.

Таблица II 6 Обобщени резултати за 28 населени места в страната за височината на снежната покривка

№	Град	Данни от НИМХ		Получени резултати			
		H ₂₅	Абс. максимум	Разпределение тип	H ₂₅	H ₅₀	R ²
1	Бургас	43	80	III	55,4	68,0	0,9643
2	Бойчиновци	80	90	Логнормално	78,4	94,0	0,9781
3	Варна	28	80	I	48,3	57,0	0,966
4	В. Търново	79	65	III	64,6	71,0	0,9937
5	Видин	102	102	I	93,3	108,4	0,9744
6	Враца	89	93	III	65,6	71,6	0,9921
7	Габрово	100	87	I	81,5	92,2	0,993
8	Ген. Тошево	66	41	I	62,7	74,3	0,9506
9	Момчилград	55	53	III	76,9	92,6	0,9741
10	Кюстендил	65	121	Логнормално	85,3	107,5	0,9897
11	Пазарджик	55	64	I	52,2	60,5	0,9632
12	Перник	57	69	I	64,4	73,9	0,9907
13	Петрич			I	57,1	69,6	0,976
14	Плевен	76	80	I	63,8	72,7	0,9913
15	Пловдив	48	63	I	50,3	57,6	0,9925
16	Русе	90	102	III	92,2	107,4	0,9849
17	Свищов	100	103	I	96,1	111,2	0,9915
18	Силистра	69	127	I	55,2	63,2	0,9851
19	Сливен	25	82	Логнормално	47,3	65,1	0,9903
20	Смолян	70	115	I	109,0	125,2	0,9939
21	София	71	80	Логнормално	54,8	64,8	0,9973
22	Ст. Загора	56	58	I	46,8	55,0	0,9761
23	Търговище	86	95	I	83,3	95,5	0,9914
24	Угърчин	85	80	III	83,2	92,6	0,993
25	Хасково	59	95	I	74,3	86,0	0,9804
26	Чирпан	55	80	III	61,5	70,2	0,9922
27	Шумен	77	145	I	64,2	73,7	0,9774
28	Ямбол	47	48	III	37,9	44,5	0,9876

II.2. Определяне на средната стойност на плътността на снежната покривка с използване на метода на невронните мрежи

Намирането на емпирична зависимост за плътността на снежната покривка е в центъра на редица научни изследвания. Големият брой фактори, които оказват влияние върху плътността, не е позволил да се

изведе универсална зависимост, която да е приложима за всички райони на планетата.

Данните, използвани за райониране на Германия за натоварване от сняг, са получени с използване на емпиричната формула на Гренцер [49] за връзката между плътността и височината на снежната покривка:

$$\rho = \frac{\rho_e \mu}{d} \ln \left[1 + \frac{\rho_0}{\rho_e} \left(\exp \frac{d}{\mu} - 1 \right) \right] \quad \text{II 11}$$

където:

ρ – средната плътност на снежната покривка (kN/m^3)

ρ_e – максималната плътност (препоръчвана стойност 7 kN/m^3)

ρ_0 – минималната плътност (препоръчвана стойност $1,8 \text{ kN/m}^3$)

d – височина на снежната покривка (m)

μ – коефициент (препоръчвана стойност $1,4 \text{ m}$).

Подобна на нея е и формулата на Обединения комитет за сигурност на конструкциите (JCSS) [54].

$$\rho = 3 - 2 \cdot \exp(-1,5 \cdot d) \quad \text{II 12}$$

където:

ρ – средната плътност на снежната покривка (kN/m^3);

d – височина на снежната покривка (m).

Изследванията в Хърватска, проведени във връзка с предстоящото ѝ преминаване към системата на Еврокодовете [67], показват, че средната плътност по-скоро зависи от географския район и надморската височина на терена. Територията на Хърватска е разделена на четири района: крайбрежен, равнинен и два планински. За равнинния и двата планински райони са получени следните зависимости:

▪ за равнинната част на страната:

$$\rho = 170,5 + 0,0723h \quad \text{II 13}$$

▪ за първата планинска част на страната:

$$\rho = 131,3 + 0,1435h \quad \text{II 14}$$

▪ за втората планинска част на страната:

$$\rho = 150,9 + 0,1417h \quad \text{II 15}$$

където:

ρ – средната плътност на снежната покривка (kg/m^3);

h – надморска височина на района (m).

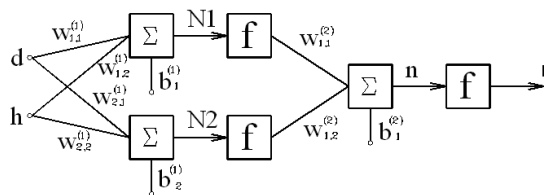
Наличието на ежедневни наблюдения за плътността и височината на снежната покривка в района на София за периода от 1961-1969 година, позволява да се потърси емпирична зависимост за плътността като функция на височината и продължителността на задържането на снежната покривка. Използван е методът на невронните мрежи.

Решението по този метод включва няколко етапа:

▪ избор на конфигурацията на невронната мрежа;

- избор на типа на връзките между невроните, разположени в различните слоеве на мрежата;
- трениране на мрежата;
- тестване на мрежата.

Когато се търси интерполационна зависимост, обикновено се работи с минимален брой слоеве на невроните. След редица опити се стигна до извода, че при конкретната задача най-оптималната конфигурация е с два неврони слой с два неврона на първия слой и един неврон на изхода. Входните параметри са височината на снежната покривка и броят на дните от началото на снегозадържането. В неврона на изходния слой се получава плътността във функция на изброените по-горе два входни параметъра.



Фигура IT 35 Схема на използваната невронна мрежа

Използвани са следните видове трансферни функции: при двата неврона на първия слой тя е логсигмоидална, а при неврона на изходния слой е линейна.

В процеса на обучение (трениране) са използвани данните от първите шест години, след това е направена проверка (тестване) с останалите три години. При обучението са приложени 50000 цикъла (епохи). Използван е методът на обратното разпространение на грешката. Достигната е точност по MSE = 0,00941.

Изчислените характеристики на невронната мрежа са както следва:

а) за невроните от първи слой:

$$w_{1,1}^{(1)} = 0,1549 \quad w_{1,2}^{(1)} = -0,0698 \quad w_{2,1}^{(1)} = 0,2007 \quad w_{2,2}^{(1)} = -0,0009$$

$$b_1^{(1)} = -8,9462 \quad b_2^{(1)} = 0,3695;$$

б) за втория слой неврони:

$$w_{1,1}^{(2)} = 0,7789 \quad w_{1,2}^{(2)} = 0,4080 \quad b_1^{(2)} = -0,1420.$$

$$N_1 = w_{1,1}^{(1)}.d + w_{1,2}^{(1)}.h + b_1^{(1)}$$

$$N_2 = w_{2,1}^{(1)}.d + w_{2,2}^{(1)}.h + b_2^{(1)} .$$

Логсигмоидалната трансферна функция има вида:

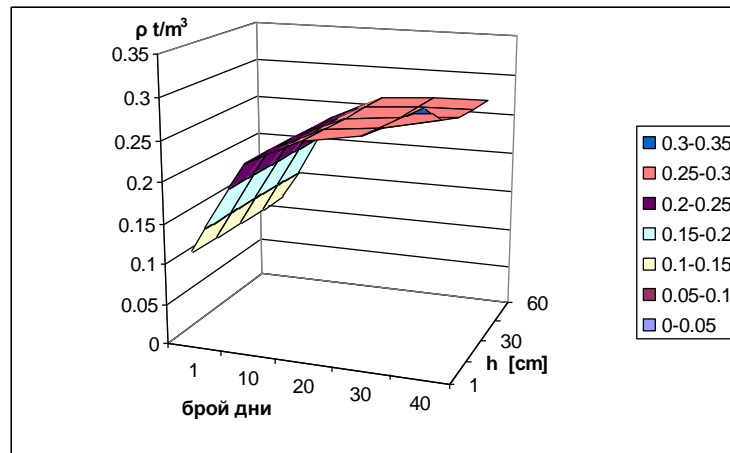
$$\log sig(N) = \left(\frac{1}{1 + e^{-N}} \right) \quad \text{II 16}$$

Окончателно за плътността на снежната покривка се получава изразът:

$$\rho = w_{1,1}^{(2)}. \logsig(N_1) + w_{1,2}^{(2)}. \logsig(N_2) + b_1^{(2)} \quad \text{II 17}$$

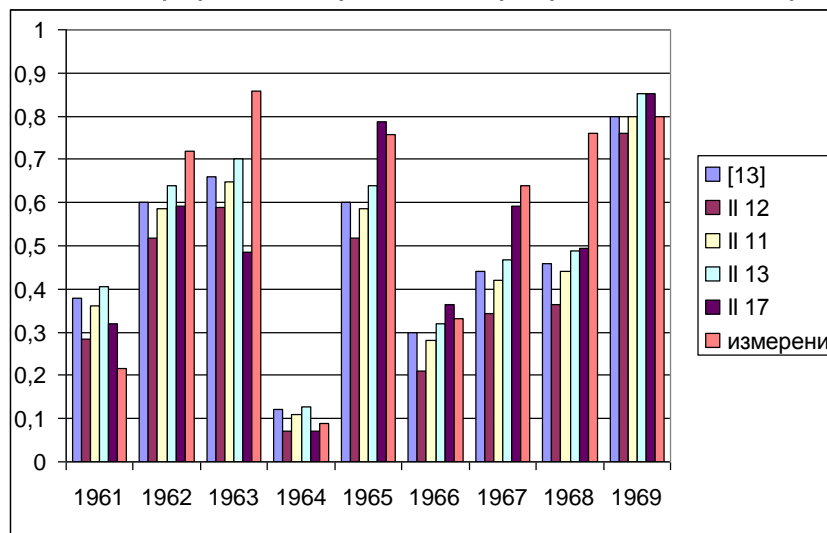
където: векторите h, d и ρ са съответно: височината на снежната покривка, броят дни, през които се е задържала до този момент и плътността й.

На фигура II 36 е показана зависимостта между плътността, височината и броя на дните на задържане на снежната покривка.



Фигура II 36 Зависимост между плътността, височината и броя на дни от началото на задържането на снежната покривка

За всички дни от разглеждания период от 1961 до 1969 г. е направено сравнение на резултатите за предполагаемата плътност, които се получават по различните зависимости: по формули II 11, II 12, II 13, с приетата стойност в [13] от $2,0 \text{ kN/m}^3$ и по получената зависимост II 17. С определените по този начин предполагаеми плътности и данните за височината на снежната покривка за съответния ден е изчислено предполагаемото тегло. От всяка година е определен денят с предполагаемото най-голямо тегло. Тези данни са съпоставени с данните за действителните максимални годишни тегла на снежната покривка. На фигура II.37 е показана графика, илюстрираща получаваните резултати от това сравнение.



Фигура II 37 Сравнение на резултатите за предполагаемите годишни максимуми на теглата на снежната покривка, според различните методики с измерените.

С изключение на данните за 1963 година, резултатите, получени с използване на невроните мрежи се доближават до измерените стойности. За да се отчете средната стойност на грешката, допускана при различните приемания, е изчислено средно аритметичното от модулите на относителните грешки:

$$\Delta_m \% = \frac{\sum_{i=1}^9 \frac{|s_{i,f} - s_{i,m}|}{s_{i,m}}}{9} \cdot 100$$

II 18

където

$s_{i,f}$ - е теглото, определено с изчислената плътност;

$s_{i,m}$ е измереното тегло на снежната покривка.

Резултатите от сравнението на грешките са показани в таблица II 12.

Таблица II 12 Средни стойности от модулите на относителните грешки

година	По [13]	по II 11	по II 13	по II 12	по II 17
1961	75,9%	31,6%	66,5%	87,1%	48,1%
1962	16,7%	28,1%	18,8%	11,4%	17,8%
1963	23,1%	31,5%	24,5%	18,2%	43,5%
1964	33,3%	21,9%	21,9%	41,8%	21,2%
1965	20,6%	31,6%	22,7%	15,6%	4,0%
1966	9,1%	36,2%	14,9%	3,3%	10,0%
1967	31,0%	46,1%	34,2%	26,6%	7,4%
1968	39,4%	52,0%	42,0%	35,5%	34,7%
1969	0,0%	4,9%	0,0%	6,4%	6,5%

Данните в таблица II 12 показват, че средната от модулите на относителните грешки при предлаганата зависимост II 17 е с около 30 % по-малка от останалите.

Късият период от данни (девет години) не позволява да се предложи окончателна зависимост за плътността като функция на нейната височина и продължителността ѝ. Необходими са периоди с продължителност най-малко от 30 години, за да бъдат обхванати достатъчно на брой характерни снежни периоди.

Глава III СОФТУЕРНИ РЕШЕНИЯ, РАЗРАБОТЕНИ ЗА РЕШАВАНЕ НА ЗАДАЧИТЕ В ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

III.1. Области за приложение на готови и разработени специално за целта софтуерни решения при изследването на показателя на надеждност на стоманени ферми

Изследването на показателя на надеждност β на стоманени ферми е свързано с обработката на много голямо количество информация и това може да се извърши само с широко използване на изчислителна техника.

За да се получат достоверни резултати е необходимо да се уточнят максимално входните данни при решението на задачата. Особено важен проблем за оценката на надеждността на стоманените ферми има натоварването от сняг. За

определяне на параметрите на разпределенията на височината на снежната покривка са използвани два програмни продукти:

- електронни таблици на MS Excel;
- специално разработен на C ++ програмен продукт Linreg.

След определянето на товарите се пристъпва към многократно статическо изследване и оразмеряване на три типа ферми при три различни собствени тегла на покривното покритие, за десет населени места. С цел да се ускори максимално този процес са разработени програми за:

- модификация на входните файлове на SAP 2000;
- определяне на най-неблагоприятната комбинация на разрезните усилия и за оразмеряване на стоманените пръти по българските норми и Еврокод 3.

След тази предварителна подготовка се преминава към определянето на показателя на надеждност β . Разработени са:

- работни листа за Mathcad, които определят показателя β чрез числено интегриране;
- специализирана програма на C ++, изчисляваща показателя на надеждност β с помощта на числено интегриране за използване в случаи, когато не се разполага с Mathcad;
- програма на C ++ за определяне на показателя β по метода с генериране на случайни величини.

Документирането на получените резултати се извършва с програма на MS Excel. Тя извежда в графичен вид резултатите за стойностите на показателя β и разхода на стомана за покривните ферми при четири варианта на норми за проектиране.

III.2. Програми за определяне на най-подходящата функция на разпределение на климатични товари и въздействия

С трансформациите от формули II 1a, II 2a, II 3a и II 4a намирането на функциите на разпределение за височината на снежната покривка се свежда до линейна регресия. Тя може да се реши с използване на MS Excel чрез графическото изобразяване тип scatter(x,y) на годишните максимуми на височината на снежната покривка. Между получените точки, чрез опцията Add Trendline, се прекарва права линия. Използва се методът на най-малките квадрати.

При разработването на програмата Linreg е използвана следната процедура:

- годишните максимуми се подреждат, започвайки от най-ниската стойност;
- с линейна регресия се определят коефициентите a и b на уравнението:

$$Y_i = aX_i + b \quad \text{III 5}$$

където:

$$X_i = \begin{cases} x_i & \text{– за разпределение I тип (Гумбел);} \\ \ln(x_i) & \text{– за останалите разпределения (Фреше, Вейбул и логнормално).} \end{cases} \quad \text{III 6}$$

$$Y_i = \begin{cases} \ln\left(-\ln\left(\frac{i}{n+1}\right)\right) & \text{за разпределение I тип (Гумбел) и II тип (Фреше);} \\ \ln\left(-\ln\left(1-\frac{i}{n+1}\right)\right) & \text{за разпределение III тип (Вейбул);} \\ F_U^{-1}\left(\frac{i}{n+1}, 0, 1\right) & \text{за логнормално разпределение.} \end{cases} \quad \text{III 7}$$

Където:

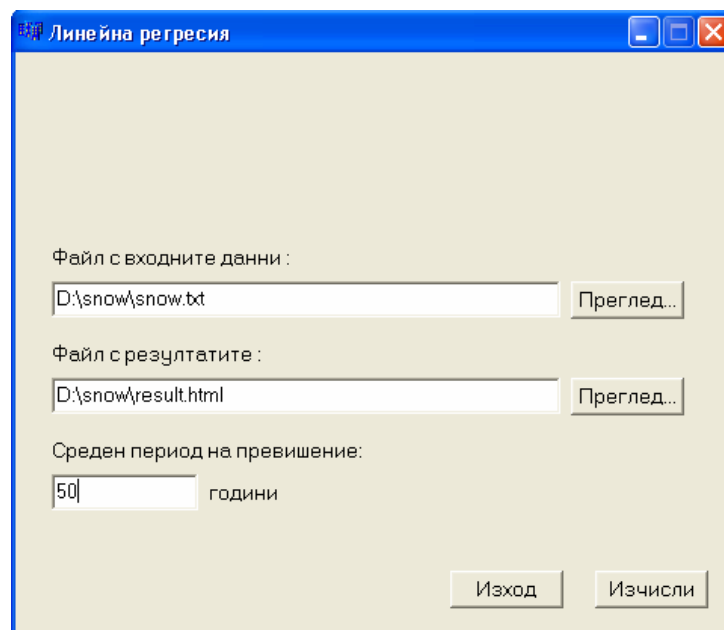
- i е поредният номер на максимума;
- n е общият брой на годините.

Вероятността дадено ниво да не бъде надвишено $\frac{i}{n}$ се заменя с $\frac{i}{n+1}$, за да не се получи 1 при $i = n$. Това се прави поради двойното логаритмуване [9].

Коефициентите a и b от уравнение III 5 се определят по метода на най-малките квадрати. В таблица III.1 са показани резултатите за района на София, а на фигура III.2 работният прозорец на програмата "Linreg". Входните данни за годишните максимуми на височината на снежната покривка се четат от текстов файл.

Таблица III.1 Изходни данни на програмата „Linreg“

Разпределение	a	b	k	X ₅₀
Логнормално	1,8164	-5,52311	0,99866	64,8041
Гумбел	-0,0920	1,64083	0,99158	60,2309
Фреше	-2,2076	6,16907	0,979097	95,7691
Вейбул	2,2135	-7,27447	0,981746	49,5261



Фигура III.2 Прозорец на програмата Linreg

Кодът на програмата „Linreg“ е показан в приложение „С“ на глава III.

III.3. Работни листа за MS Excel за оразмеряване на стоманени ферми със сечение на прътите от два ъглови профили

Разработена е на C++ програма "SAPCOR". Тя се използва за да се получат входните данни за статическите изчисления за останалите девет населени места от входните файлове за района на София. Това се постига чрез изменение на текстовите файлове на SAP 2000 "*.s2k" в частта им, свързана с атмосферните товари.

Резултатите от статическите изчисления се записват в текстов формат в опцията електронни таблици.

Разработен е пакет от работни листа на Excel за определяне на оразмерителните разрезни усилия в прътите и оразмеряването им съгласно нашите норми и Еврокод 3. Програмните реализации на Visual Basic са дадени в приложение „А“ на глава III.

На фигура III.3 е показан работният лист за оразмеряване на стоманени ферми с пръти от горещо валцовани ъглови профили по нашите норми [18].

R_y [MPa]	E [MPa]	λ_u		μ_{fy} [MPa]	σ_{fy} [MPa]	γ_c
		опън	натиск			
225	206000	400	180	288	23.04	0.95

S_{max} [kN]	=	110.09
t_1 [cm]	=	0.6

Оразмеряване на прътите по норми от 1987 г. Лек покрив

прът	тип	Усилие [kN]	l_y [cm]	l_z [cm]	обща дължина [m]	сечение	$2A_1$	i_y	i_z	λ_y	λ_z	λ_u	$N_{max.}$ [kN]	η	μ_R [kN]	маса [kg]
O_{max}	1	-130.18	300.20	300.20	18.00	2L.75.75.6	17.56	2.3	3.295	130.5	91.1	180	143.90	0.90	184.19	248
U_{max}	1	139.60	600.00	900.00	18.00	2L.50.50.5	9.6	1.53	2.302	392.2	391	400	205.20	0.68	262.66	136
D_1	1	-110.08	390.51	390.51	7.81	2L90.90.6	21.2	2.78	3.896	140.5	100.2	180	150.58	0.73	192.74	130
D_2	2	59.28	312.41	390.51	7.81	2L.50.50.5	9.6	1.53	2.302	204.2	169.6	400	205.20	0.29	262.66	59
D_3	2	-14.11	322.88	403.60	8.07	2L.63.63.5	12.26	1.94	2.815	166.4	143.4	180	53.22	0.27	68.13	78
V_1	1	-14.09	240.00	240.00	4.80	2L.50.50.5	9.6	1.53	2.302	156.9	104.3	180	55.33	0.25	70.82	36
V_2	2	-28.19	208.00	260.00	5.20	2L.50.50.5	9.6	1.53	2.302	135.9	112.9	180	61.53	0.46	78.76	39
V_3	2	-2.43	216.00	270.00	2.70	2L.50.50.5	9.6	1.53	2.302	141.2	117.3	180	56.88	0.04	72.80	20
															Общо:	746.00

Фигура III.3 Таблица с резултати от оразмеряване прътите на стоманена ферма

III.4. Определяне на показателя на надеждност β чрез интегриране на израза за вероятността за отказ на конструктивния елемент с помощта на работен лист за Mathcad и със специализирана програма Betacalc на C ++

На основата на тази информация от оразмеряването на прътите се пристъпва към определяне на показателя на надеждност β на отделните пръти.

За численото интегриране на израза за вероятността за отказ са разработени работни листа за Mathcad 13 и специализирана програма на C ++ „Betacalc“. Един от работните листа за Mathcad е показан в приложение „А“ на глава V. Численото интегриране се извършва по метода на Симпсън. За да се ускори изчислителният процес са изведени интегрални зависимости за P_f с директно приложение на коефициентите a и b , получавани при линейната регресия: формули V 19, III 20, III 21 и III 22.

$$P_{fi} = \int_0^{\infty} F_{SRG}(x, \mu_{SRG}, \sigma_{SRG}) \cdot f_{\ln} \left(\ln \left(\frac{x}{ks_i} \right), -\frac{b}{a}, \frac{1}{a} \right) \frac{1}{ks_i} dx \quad \text{за логнормално} \quad \text{III 19}$$

$$P_{fi} = \int_{-\infty}^{\infty} -F_{SRG}(x) \cdot \exp \left[-\exp \left(a \frac{x}{ks_i} + b \right) \right] \cdot \exp \left(a \frac{x}{ks_i} + b \right) \frac{a}{ks_i} dx \quad \text{за тип Гумбел III 20}$$

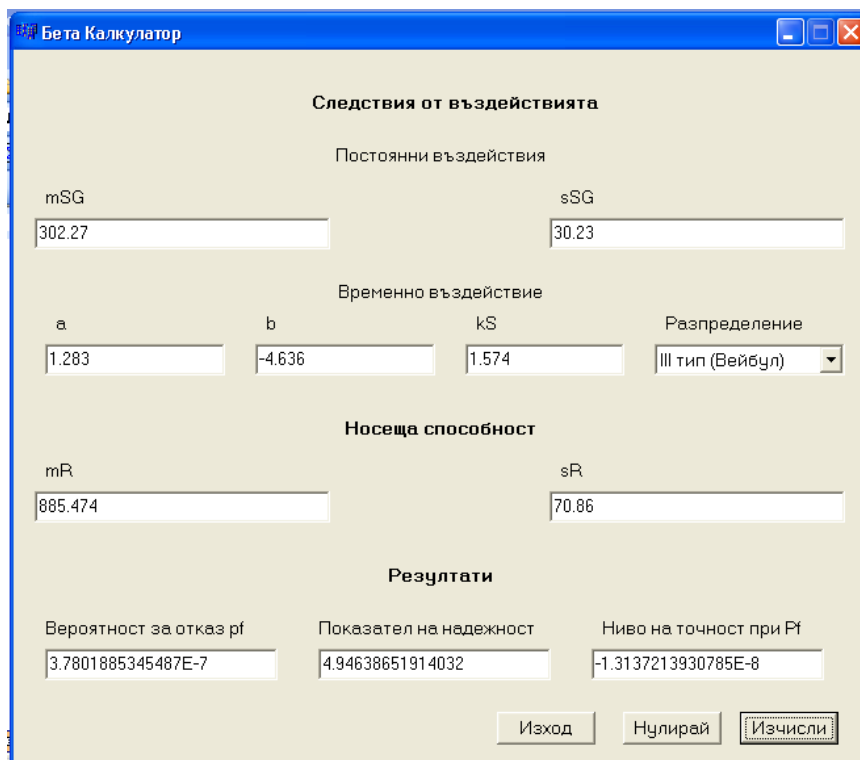
$$P_{fi} = \int_0^{\infty} -F_{SRG}(x) \cdot \exp \left[-\exp \left(a \ln \frac{x}{ks_i} + b \right) \right] \cdot \exp \left(a \ln \frac{x}{ks_i} + b \right) \frac{a}{x} dx \quad \text{за тип Фреше III 21}$$

$$P_{fi} = \int_0^{\infty} F_{SRG}(x) \cdot \exp \left[-\exp \left(a \ln \frac{x}{ks_i} + b \right) \right] \cdot \exp \left(a \ln \frac{x}{ks_i} + b \right) \frac{a}{x} dx \quad \text{за тип Вейбул III 22}$$

При разработването на програмата „Betacalc“ са решени по оптимален начин проблемите за:

- подходящото разбиване на интервала на допустимите стойности на случайната величина на четири подинтервала с подходящи апроксимация за крайните два;
- оптимално комбиниране на развитието в ред на Тейлър за функцията на грешката **erf** и асимптотичното представяне на допълващата я до единица функция **erfc**;
- изчисляване на стойностите на обратната на стандартната функция на Гаус с решението на Аклам, ([32]).

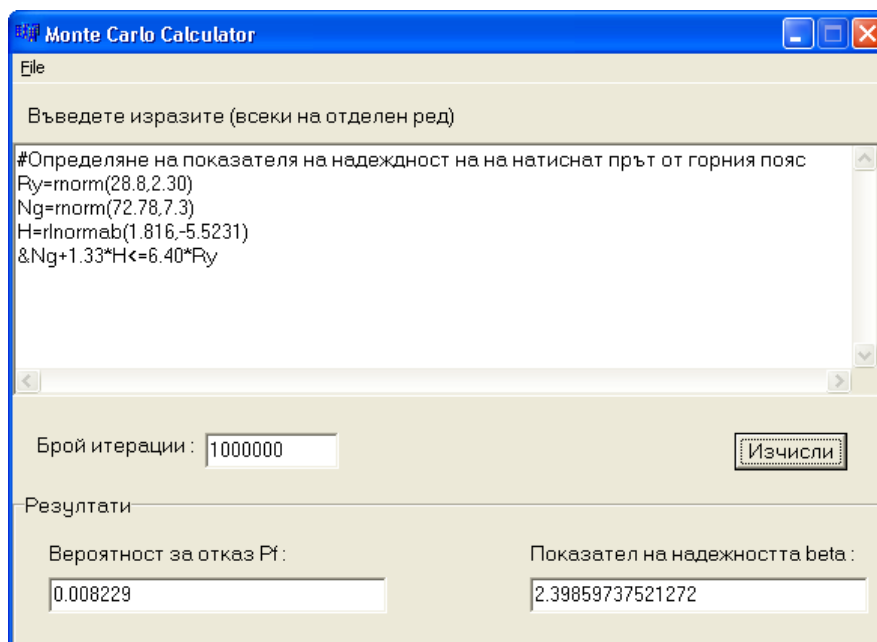
Работен прозорец на програмата „Betacalc“ е показан на фигура III 7.



Фигура III 7 Прозорец на програмата Betacalc

III.5. Програма „МСcalc“ за определяне на показателя на надеждност β с моделиране на случайните величини чрез генерирани случайни числа

Значително разширяване на кръга задачи, свързани с определянето на показателя на надеждност β , се постига с използването на разработената в дисертационния труд програма "МСcalc". На фигура III.8 е показан работният прозорец с числов пример за определяне на показателя β на натиснат прът на стоманена ферма.



Фигура III.8 Прозорец на програмата "MScalc"

Както се вижда от примера в текстовото поле на прозореца, задачата се формулира по-начин аналогичен на обикновен математически запис. Програмата поддържа освен обичайните математически и логически функции и няколко генератори на случайни числа: трите типа разпределения на Фишер-Типет и логнормалното разпределение. Този набор може да бъде разширен лесно при необходимост от това. Водещите символи # и & означават, че съответният ред е коментар и ред за сравнение.

За изчисляване на въведените уравнения се използва разработената от Инго Берг библиотека "muParser" [33].

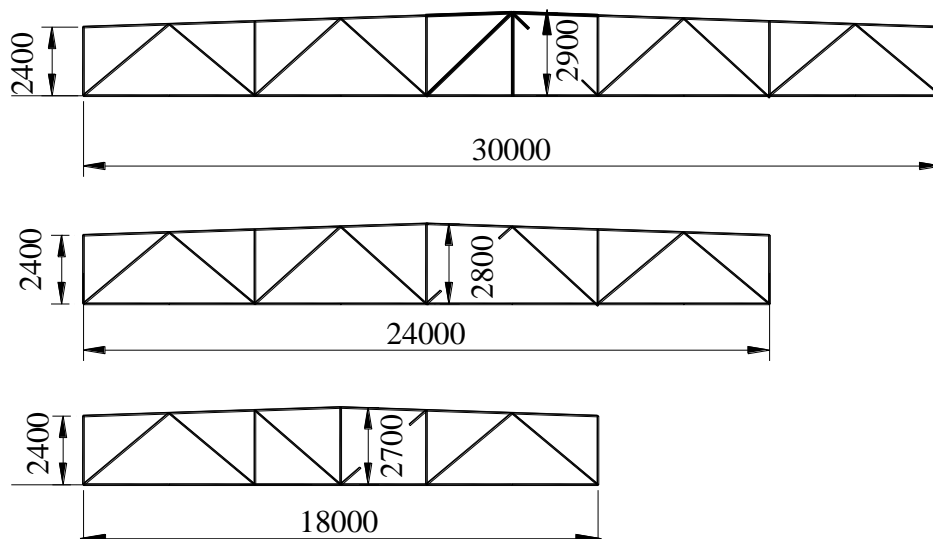
Необходимостта от генерирането на голям брой случайни числа, достигащи в някои случаи до сто милиона, налага програмата да се оптимизира и да се постигне голяма скорост на обработка на данните.

Изчислителният процес е изведен в отделна нишка, с което се дава възможност за работата с други приложения по време на по-продължителни периоди на изчисления.

Глава IV ОЦЕНКА НА ПОКАЗАТЕЛЯ НА НАДЕЖДНОСТ β НА СТОМАНЕНИ ПОКРИВНИ ФЕРМИ

IV.1. Обхват на изследването

Показателят β е определен за трите ферми показани на фигура IV.1, за десет населени места и три типа покривно покритие.



Фигура IV.1 Схеми на покривните ферми

Населените места са: Бургас, Варна, Видин, Петрич, Плевен, Пловдив, Русе, Свищов, София и Стара Загора. Целта е това да са райони с различен климат и в тях да е разположена значителна част от населението и сградния фонд на страната.

Трите типа покривни покрития са: лек (тип „монопанел“), тежък (със стоманобетонни покривни панели) и среден с тегло между тези два крайни варианта.

При определянето на показателя на надеждност β са използвани следните приемания:

- носещата способност се определя при нормално разпределение на границата на провлачане с $\mu_{fy} = 28,8 \text{ kN/cm}^2$ и $\sigma_{fy} = 0,08\mu_{fy}$;
- собственото тегло е с нормално разпределение с математическо очакване равно на нормативната (характеристичната) стойност и средно квадратично отклонение 10% от математическото очакване;
- натоварването от сняг има конкретното разпределение на района, за който се провежда изследването.

IV.2. Определяне на показателя на надеждност β чрез числено интегриране на израза за вероятността за отказ P_f

Интегралът на вероятността за отказ има вида:

$$P_f = \int_c^{\infty} f_{SS}(x) \cdot F_{SRG}(x) dx \quad \text{IV 1}$$

където:

f_{SS} е плътността на функцията на разпределение на усилията от натоварване от сняг;

F_{SRG} е функцията на разпределение на разликата между носещата способност R и усилията от собствено тегло S_G ;

c е долната граница на интегриране.

Долната граница на интегриране c зависи от типа на разпределение на усилията от натоварването от сняг и може да бъде или $-\infty$, или 0 .

След определянето на вероятността за отказ P_f , чрез обратната функция на стандартизираното нормално разпределение се определя показателя на надеждност β .

Плътността на функцията на разпределение на усилията, следствие на натоварването от сняг $f_{s,s}(x)$ във формула IV 1 може да се определи от функцията на разпределение на височината на снежната покривка за съответния район на строителството, като се използват следните предпоставки:

- между товарите и разрезните усилия има линейна зависимост;
- за разглежданите десет района се приема плътност на снежната покривка от 2 kN/m^3 , а за районите на Бургас и Петрич допълнително се определя β и при плътност $1,5 \text{ kN/m}^3$.

Плътността на функцията на разпределение $f_{ss}(x)$ може да бъде получена или от плътността на функцията на разпределение на височината на снежната покривка или директно с използване на коефициентите a и b на апроксимиращата права при регресионния анализ на статистическите данни за височината. Вторият подход спестява някои междинни изчисления и затова е използван в разработката.

Това налага извеждането на зависимостите за $f_{SS}(x)$ с използване на параметрите a и b от регресионния анализ.

$$P_{fi} = \int_0^{\infty} F_{SRG}(x, \mu_{SRG}, \sigma_{SRG}) \cdot f_{\ln} \left(\ln \left(\frac{x}{ks_i} \right), -\frac{b}{a}, \frac{1}{a} \right) \frac{1}{ks_i} dx \quad \text{IV 10}$$

$$P_{fi} = \int_{-\infty}^{\infty} -F_{SRG}(x) \cdot \exp \left[-\exp \left(a \frac{x}{ks_i} + b \right) \right] \cdot \exp \left(a \frac{x}{ks_i} + b \right) \frac{a}{ks_i} dx \quad \text{за I тип} \quad \text{IV 17}$$

$$P_{fi} = \int_0^{\infty} -F_{SRG}(x) \cdot \exp \left[-\exp \left(a \ln \frac{x}{ks_i} + b \right) \right] \cdot \exp \left(a \ln \frac{x}{ks_i} + b \right) \frac{a}{x} dx \quad \text{за II тип} \quad \text{IV 18}$$

$$P_{fi} = \int_0^{\infty} F_{SRG}(x) \cdot \exp \left[-\exp \left(a \ln \frac{x}{ks_i} + b \right) \right] \cdot \exp \left(a \ln \frac{x}{ks_i} + b \right) \frac{a}{x} dx \quad \text{за III тип} \quad \text{IV 19}$$

където:

ks_i е коефициентът за преход от височината на снежната покривка към разрезното усилие в $i^{\text{тия}}$ прът (усилието, предизвикано от един сантиметър снежна покривка върху терена).

IV.3. Резултати от изследването на горната граница на показателя на надеждност на разглежданите ферми за десетте населени места

С изложената в предишния раздел методика се определят показателите на надеждност за всички пръти от фермата (като се използва нейната симетрия).

Вероятността за отказ на цялата ферма $P_{f,sys}$ се намира в диапазона ограничен от долната и горната граници, съгласно формула IV 20 [52]:

$$\max(P_{f,i}) \leq P_{f,sys} \leq \min \left(\sum_{i=1}^N P_{f,i}, 1 \right) \quad \text{IV 20}$$

където:

$P_{f,i}$ е вероятността за отказ на $i^{\text{тия}}$ прът x ;

N е броят на прътите на фермата.

Броят N може да бъде намален на половина ако се приеме, че между механичните характеристики на симетричните пръти има корелационна зависимост единица. Това е приемливо, тъй като симетричните елементи се изработват от един и същ прът на доставената профилна стомана.

От формула IV 20 се вижда, че минималната вероятност за отказ на фермата като цяло е по-голяма или равна на максималната вероятност за отказ на отделните пръти. Съответно горната граница на показателя β на фермата като цяло е равна на минималната стойност на сумата от този показател на отделните пръти.

Горната граница на показателя на надеждност β за фермите е определен като са използвани зависимостите: IV 2, IV 10, IV 17, IV 18 и IV 19. За всяко населено място са построени стълбовидни диаграми за показателя на надеждност β и преразхода на метал в сравнение с проектните решения по нормите за натоварване от 1987 година. Разгледани са трите типа ферми с трите типа покривни покрития. Данните са показани и в табличен вид. След всяка от таблиците е направен кратък коментар на получените резултати.

За ферми с отвор 24 метра е изследвано изменението на показателя на надеждност β при корекция на натоварването с коефициент γ_{FI} . Както е изложено в глава I, Еврокод 0 дава възможност за отговорни конструкции да се постига по-висока надеждност на тези конструкции – виж таблица I 7. В табличен и графичен вид са дадени резултатите за показателя на надеждност β и масата на фермите, проектирани с коефициент γ_{FI} равни на 1,1; 1 и 0,9 за системата на Еврокодовете. В нашите норми също се предвижда такава възможност за диференциране на показателя на надеждност в зависимост от последствията от отказ на конструкцията на сградата или съоръжението. В нашите норми този коефициент е γ_n . За вариантите условно наричани „Норми 87” и „Наредба № 3” също са определени показателите на надеждност β и масите на фермите при стойности на γ_n равни на 1,1; 1 и 0,9. След съответните таблици е направен коментар на получаваните конкретни резултати.

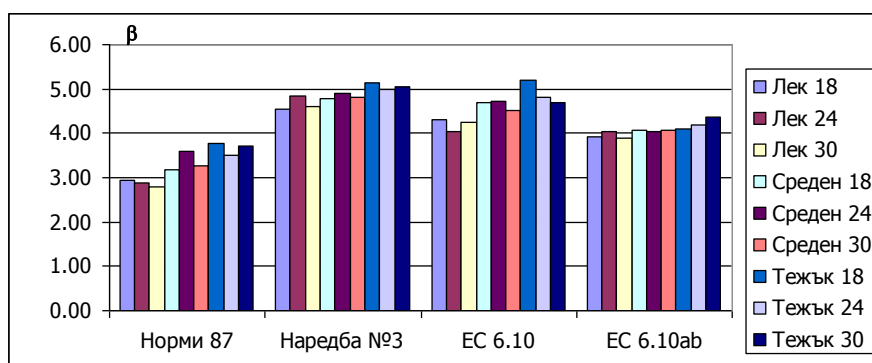
В автореферата са показани резултатите за района на Плевен.

За да се направи оценка за широчината на диапазона на изменение на показателя β на фермата като цяло е определена и долната му граница за района на София при ферма с подпорно разстояние 24 m. Резултатите са показани в таблица IV 50.

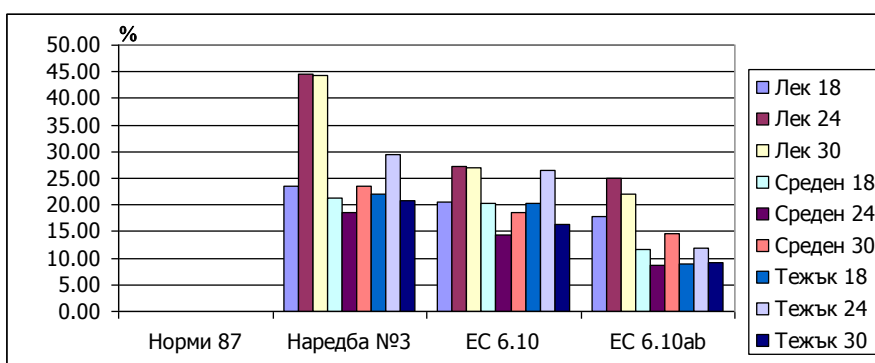
Таблица IV.50 Горна и долна граница на показателя на надеждност β на фермата като цяло за района на София

Граница		Норми 87	Наредба №3	ЕС 6.10	ЕС 6.10ab
Горна	Лек 24	2,41	3,42	3,55	3,47
долна	Лек 24	1,98	3,18	3,40	3,16
Горна	Среден 24	2,70	3,85	4,01	3,65
долна	Среден 24	2,37	3,60	3,76	3,28
Горна	Тежък 24	3,17	4,20	4,27	3,97
долна	Тежък 24	2,71	3,92	3,93	3,57

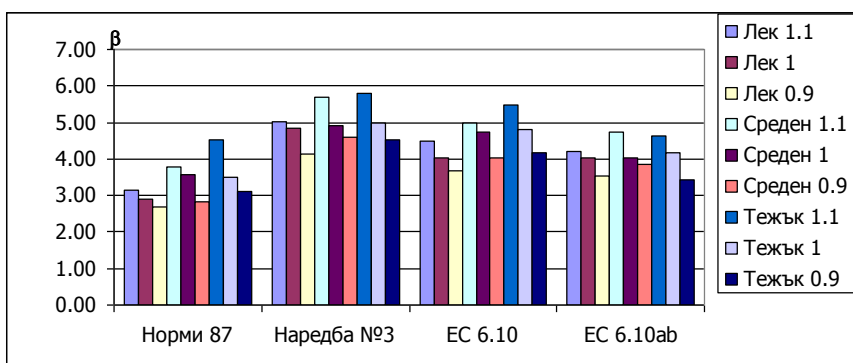
От резултатите се вижда, че разликата е по-голяма при ниските стойности на показателя на надеждност β .



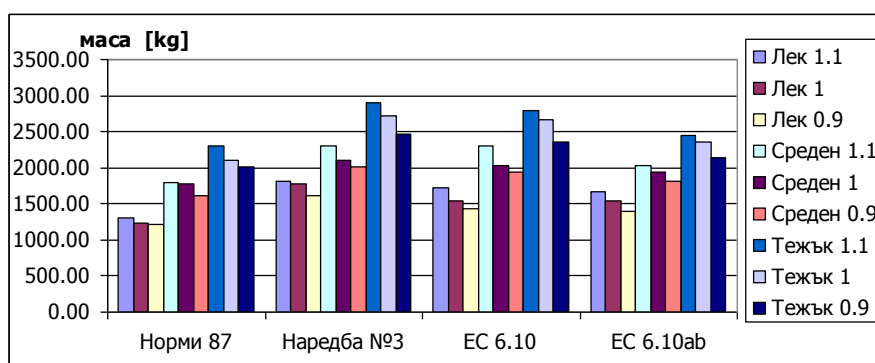
Фигура IV.3 Коефициент β за района на Плевен



Фигура IV.4 Преразход за района на Плевен



Фигура IV.5 Показател на надеждност β за района на Плевен за отвор 24 m, при различни стойности на γ_{fi}



Фигура IV.6 Маса на ферми с отвор 24 m за района на Плевен, при различни стойности на γ_{ff}

с **Таблица IV.1** Стойности на показателя на надеждност β за района на Плевен

	Норми 87	Наредба №3	ЕС 6.10	ЕС 6.10ab
Лек 18	2,93	4,54	4,32	3,92
Лек 24	2,89	4,85	4,04	4,04
Лек 30	2,78	4,61	4,25	3,89
Среден 18	3,17	4,79	4,70	4,08
Среден 24	3,58	4,91	4,72	4,04
Среден 30	3,26	4,80	4,51	4,05
Тежък 18	3,78	5,14	5,20	4,09
Тежък 24	3,51	4,98	4,80	4,17
Тежък 30	3,72	5,06	4,70	4,37

Както се вижда от графиката на фигура IV.3 и от стойностите в таблица IV.1, показателят на надеждност β е с най-ниска стойност 2,78 при оразмеряване по норми 87 и леко покривно покритие. Максималната стойност по тези норми не достига изискваното ниво на показателя на надеждност за минималния клас RC 1 ($\beta=4,2$), дори при тежко покритие. След промените за натоварванията от сняг с Наредба № 3, почти за всички варианти на покривното покритие, нивото за RC 2 е надминато ($\beta=4,7$). Доста близки (малко по-ниски) са нивата постигнати от вариант 6.10 на оразмерителното неравенство на БДС EN 1990. Оразмерителните неравенства 6.10a и 6.10b не осигуряват ниво на надеждност за клас RC 2. Може да се направи изводът, че неравенство 6.10 EN 1990 осигурява оптимална надеждност на покрива за района на Плевен.

Таблица IV.2 Преразход на стомана в сравнение с норми 87 за района на Плевен

	Норми 87	Наредба №3	ЕС 6,10	ЕС 6,10ab
Лек 18	0,00	23,59	20,49	17,82
Лек 24	0,00	44,65	27,15	24,95
Лек 30	0,00	44,22	26,91	21,95
Среден 18	0,00	21,31	20,38	11,69
Среден 24	0,00	18,50	14,29	8,70
Среден 30	0,00	23,44	18,67	14,55
Тежък 18	0,00	22,07	20,22	8,80
Тежък 24	0,00	29,34	26,59	11,92
Тежък 30	0,00	20,77	16,34	9,04

Най-голям преразход се получава при използване на Наредба №3 за покриви с леко покривно покритие – около 45%. Причина за по-високия преразход е, че приетата стойност на натоварването от сняг за района на Плевен в Наредба №3 е по-голяма от необходимата (виж глава II). С въвеждането на системата от

Еврокодовете този преразход ще намалее от 25 – 30% при оразмерителното неравенство 6.10 до 15 – 20% при варианта с неравенства 6.10а и 6.10b.

Таблица IV.3 Стойности на показателя на надеждност β за района на Плевен за отвор 24 m, при различни стойности на γ_{fi}

	Норми 87	Наредба №3	ЕС 6.10	ЕС 6.10ab
Лек 1,1	3,16	5,01	4,50	4,21
Лек 1	2,89	4,85	4,04	4,04
Лек 0,9	2,69	4,13	3,68	3,53
Среден 1,1	3,79	5,69	4,97	4,72
Среден 1	3,58	4,91	4,72	4,04
Среден 0,9	2,84	4,61	4,04	3,84
Тежък 1,1	4,51	5,80	5,47	4,62
Тежък 1	3,51	4,98	4,80	4,17
Тежък 0,9	3,11	4,51	4,17	3,43

Както се вижда от графиката на фигура IV.5 и от стойностите в таблица IV.3, показателят на надеждност β е с най-ниска стойност 2,69 при оразмеряване на покриви с леко покритие по норми 87 с използване на коефициент 0,9. Единствено при тежко покритие и коефициент 1,1 проектираните по норми 87 ферми достигат ниво RC 1 на системата Еврокодове. Значително по-добри показатели се постигат след влизането в сила на Наредба №3. Единствено за леките покриви не се достига за малко до ниво RC 3. При тежкия вариант нивата се надминават. Добри нива на надеждност се получават и при оразмерително неравенство 6.10. Нивата на надеждност, достигани при използване на алтернативните неравенства 6.10a и 6.10b, са по-ниски от предписаните.

Таблица IV.4 Маса на ферми с отвор 24 m за района на Плевен, при различни стойности на γ_{fi}

	Норми 87	Наредба №3	ЕС 6.10	ЕС 6.10ab
Лек 1,1	1305,30	1805,02	1715,23	1664,26
Лек 1	1234,84	1786,18	1542,93	1542,93
Лек 0,9	1219,01	1609,08	1427,34	1403,61
Среден 1,1	1796,19	2295,37	2296,75	2031,32
Среден 1	1777,35	2106,22	2031,32	1932,06
Среден 0,9	1611,62	2021,91	1932,06	1822,40
Тежък 1,1	2295,37	2905,92	2787,94	2443,21
Тежък 1	2106,22	2724,12	2666,36	2357,18
Тежък 0,9	2021,91	2460,35	2357,18	2142,09

От таблица IV.4 се вижда, че използването на коефициенти 1,1 и 0,9 увеличават, респективно намаляват разхода на метал с 8 – 10 %.

Глава V ИЗВОДИ ОТ ПОЛУЧЕНИТЕ НИВА НА ПОКАЗАТЕЛЯ НА НАДЕЖНОСТ β И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ЗА ПОДОБРЯВАНЕТО ИМ

V.1. Изводи от изследването на показателя на надеждност β на стоманени покривни ферми

Резултатите в глава IV позволяват да се направят следните изводи за нивото на надеждност, изразена чрез показателя β за разглежданите стоманени покривни ферми:

- надеждността постигана след въвеждането на Наредба № 3 се увеличава значително: средно за лек покрив от 2,38 на 3,83 и за тежък от 3,16 на 4,52, което намалява вероятността за отказ P_f за лек покрив 135 пъти, а за тежък покрив 217 пъти;
- преминаването към системата на Еврокодовете ще запази това ниво на надеждност, ако се използва вариантът за комбиниране на натоварванията съгласно зависимости 6.10 от [1];
- комбинирането на следствията от въздействията съгласно 6.10 осигурява различен показател на надеждност β при лек и тежък покрив, средно: 3,92 и 4,64 или разлика във вероятността за отказ P_f 27 пъти;
- при използване на алтернативните зависимости 6.10a и 6.10b разликата в нивото на вероятността за отказ за средните стойности на β между лек и тежък покрив е 4,3 пъти;
- разликата между нивата на вероятността за отказ за отделните населени места, в рамките на зависимостта 6.10, за лек покрив е 18 пъти, а при тежък покрив 44 пъти;
- използването на коефициентите γ_{FI} осигурява за сметка на разлика в разхода на метал от 8 – 10% намаляване на P_f около десет пъти.

V.2. Възможни подходи за подобряване надеждността на стоманени покривни ферми под въздействието на натоварване от сняг

Чувствителните разлики в стойностите на показателя β , които се получават при използване на варианта 6.10, могат да бъдат намалени с използване на променлив коефициент на натоварване за сняг както в предишните норми за натоварване [16]. За да се оцени ефектът от използването на подобен подход е изследвано влиянието, което би имало определянето на коефициента $\gamma_{f,s}$ със зависимостите:

$$\gamma_{f,s} = \begin{cases} 1,5 & \text{ако } \frac{G_k}{S_k} \geq 0,8 \\ 1,70 & \text{ако } \frac{G_k}{S_k} < 0,8 \end{cases} \quad \text{V.3}$$

където:

G_k е характеристикната стойност на усиλιето от собствено тегло;

S_k е характеристикната стойност на усиλιето от сняг;

$\gamma_{f,s}$ е коефициентът на натоварване за сняг.

В таблица V.7 са дадени стойности на показателя на надеждност β за десетте района на страната, 24 метрова ферма, оразмерително неравенство б.10 [1] и $\gamma_{f,s}$ по формула V 3 Съгласно NA 1993-1-1 $\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,05$.

Таблица V.7 Стойности на показателя на надеждност β за десетте района на страната, 24 метрова ферма, оразмерително неравенство б.10 [1] и $\gamma_{f,s}$ по ф-ла V 3

	Видин	Плевен	Свищов	Русе	Варна
Лек	4,13	4,57	4,10	4,35	4,35
Среден	4,16	4,72	4,44	4,70	4,68
Тежък	4,34	5,47	4,38	4,85	4,89
	Бургас	Ст.Загора	Пловдив	Петрич	София
Лек	3,759645902	4,49	4,63	4,31	3,89
Среден	4,23	4,81	4,93	4,39	4,22
Тежък	4,40	4,99	5,05	4,65	4,38

Данните показват, че има определено подобрение на нивото на показателя на надеждност β . То е недостатъчно за района на София и за трите варианта на покривно покритие. Макар и да се доближава до предписаното от EN 1990 [1] ниво на надеждност, вариантът с леко покривно покритие е под тези изисквания, с изключение на района на Пловдив, където разликата е незначителна.

Допълнителни уточнявания е целесъобразно да се правят, когато се разполага с достоверна информация за плътността на снежната покривка.

Въпреки малката територия на страната, поради своето местоположение, у нас се наблюдават райони с континентален, крайбрежен и смесен тип режими на снежната покривка. Породената от това разлика в надеждността за отделните места може да бъде намалена или чрез въвеждане на различни стойности на коефициента на натоварване от сняг γ , в зависимост от неравномерността на снежната покривка, или чрез приемането на характеристикни стойности с различен период на превишение (за някои райони по-голям от 50 години).

V.3. Оценка на икономията, която би се получила ако обемните тегла на снежната покривка в Бургас и Петрич са $1,5 \text{ kN/m}^3$

Районите на Бургас и Петрич са с мека зима и снежната покривка се задържа за няколко дни. През това време тя не може да се уплътни достатъчно и нейното обемно тегло е по-ниско. В Гърция то е прието $1,5 \text{ kN/m}^3$. За да се оцени ефектът, който би се получил от приемането на такова обемно тегло и у нас за Черноморското крайбрежие и долината на Места и Струма е направено вариантно проектиране за районите на Бургас и Петрич. Фермите са с подпорно разстояние 24 m и са проектирани по нашите норми - преди и след влизане в сила на Наредба №3, както и по двата варианта на комбиниране следствията от въздействията по системата на Еврокодовете.

Ефектът от намаляването на обемното тегло е най-голям при лекото покривно покритие – от 10 до 18%. Покривните ферми с тежко покритие намаляват теглото си от 1 до 5%. Средната стойност на ефекта е около 5% за проектираните по нашите норми ферми и 7% по системата на Еврокодовете.

Насоки за по-нататъшни изследвания в областта на надеждността на строителни конструкции и разработка на подходящ софтуер за това

Оценката на надеждността на строителните конструкции придобива съществено значение в периода на преминаване към системата на Еврокодовете. При този преход се налага да се оцени нивото на надеждност на новите процедури за оразмеряване и сравняването на това ниво с постиганото при прилагането на досегашните ни норми.

Много от съществуващите конструкции трябва да бъдат реконструирани и това налага да се оцени необходимата степен на усилването им. Правилната оценка на надеждността в тези случаи е сложна задача и решаването ѝ ще изисква разработването на методика, подкрепена от нестандартен софтуер.

Друго важно направление в развитието на научните изследвания в областта на надеждността на строителните конструкции в нашата страна е свързано с оценката на вероятността от едновременно действие на временните товари и сеизмичното въздействие. Моделирането на въздействията като случайни процеси значително усложнява задачата и е свързано с използването на съвременна изчислителна техника.

Научни и научно-приложни приноси

1. Проведено е изследване за определяне на най-подходящата функция на разпределение на височината на снежната покривка за 28 населени места в страната;
2. Разработена е методика за определяне на интерполационна зависимост за плътността на снежната покривка с използване на невронни мрежи и е приложена за района на София;
3. Разработена е методика за оценка на надеждността на елементите на стоманени ферми с директно използване на резултатите от регресионния анализ за най-подходяща функция на разпределение на височината на снежната покривка;
4. Разработени са специализирани програмни решения за изследване на надеждността на строителни конструкции.
5. За десет района на страната са изследвани нивата на надеждност на стоманени покривни ферми и са направени съответните изводи и препоръки за подобряването на тези нива.

Приложение на част от резултатите в дисертационния труд в научни изследвания, свързани с въвеждането на системата на конструктивните Еврокодове у нас

В научно -изследователската задача: "Определяне на националните параметри за климатични въздействия от сняг, вятър и температури включени в Еврокод 1 „Въздействия, върху строителните конструкции“ " на Научния институт по метеорология и хидрология на Българската академия на науките е използвана методиката за оценка на най-подходящия тип разпределение на годишните максимуми. С нея са изследвани данните за годишните максимуми на снежната покривка и скоростта на вятъра. Допълнително за тази задача са разработени програмните продукти snowreg, windreg и windreg_q.

Публикации свързани с темата на дисертацията

1. Яков В., И. Тотев, Св. Радева, Оценка на плътността на снежната покривка с използване на апроксимация чрез метода на невронните мрежи, Годишник на УАСГ, Свитък VII^a, София, 2006.
2. Яков В., Програмни решения за оценка на показателя на надеждност с генериране на случайни числа и за оразмеряване на стоманени ферми с MS Excel, С., сп. Строителство, кн. 1, 2007 г.
3. Тотев И., В. Яков, Сравняване на показателя на надеждност β на елементите на стоманена ферма, проектирана системата на Еврокодовете и българските норми, С., сп. Строителство, кн. 2, 2007 г.
4. Яков В., П. Тотев, Софтуерни решения за изследване на показателя на надеждност β на строителни конструкции, С., сп. Строителство, кн. 2, 2007 г.
5. Яков В., Намаляване на разликата на надеждността на покриви с различно собствено тегло чрез променлив коефициент за натоварването от сняг. Международна научно-приложна конференция УАСГ 2009. (Докладът е приет за отпечатване в Годишника на УАСГ)
- 6.

ЛИТЕРАТУРА, ЦИТИРАНА В АВТОРЕФЕРАТА

- [1]. БДС EN 1990:2002 Еврокод 0. Основи на конструктивното проектиране
- [8]. Гмурман В. Е., Теория вероятностей и математическая статистика., М., Высшая школа, 1977.
- [9]. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. М.: Мир, 1965
- [11]. Климатичен справочник за НР България, I том, под ред. на М.Кючукова, Наука и изкуство, София, 1978.
- [13]. Моралийски Е., П. Иванов, Райониране на територията на НРБ за снегово натоварване, "Хидрология и метеорология", кн.2, 1979.

- [15]. Наредба № 3 (от 21 юли 2004 г.) за основните положения за проектиране на конструкциите на строежите и за въздействията върху тях (ДВ, бр. 92 от 2004
- [16]. Натоварвания и въздействия върху сгради и съоръжения. С. 1990
- [18]. Норми за проектиране на стоманени конструкции., 2 04 02 ,С., Издателски център „Строителство и архитектура“, 1987.
- [21]. Ржаницын А.Р. Определение характеристики безопасности и коэффициентов запаса из экономических соображений. В сб.: «Вопросы теории пластичности и прочности строительных конструкций». М.: Стройиздат. 1961
- [22]. Ржаницын А.Р , Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М., Стройиздат, 1978.
- [32]. Acklam P. J. An algorithm for computing the inverse normal cumulative distribution function <http://home.online.no/~pjacklam/notes/invnorm/> 2004-05-04
- [33]. Berg I. muParser <http://muparser.sourceforge.net>
- [49]. Gränzer, M.: Angabe von Schneelasten geografisch nach Zonen gegliedert, für den Eurocode "Lasten" Teil 7. (Evaluation of Snow Loads for the Eurocode on Actions Part 7, depending on geographical zones) Landesstelle für Bautechnik Baden-Württemberg, Tübingen 1989.
- [52]. Handbook 2 Reliability Backgrounds, Development of skills facilitating implementation of Eurocodes, Leonardo da Vinci Pilot Project CZ/02/B/F/PP-1340
- [54]. Joint Committee of Structural Safety (JCSS) - Common unified rules for different types of construction and material. Published by Comité Euro-international du Béton (CEB) in Bulletin N° 116, 3rd draft, Paris 1976, Annex III.
- [67]. Zaninović K., M. Gajić-Čapka, B. Androić, I. Džeba, D., Određivanje karakterističnog opterećenja snijegom (Determination of a typical snow load), GRAĐEVINAR 53 (2001) 6.

Резюме

Оценка на надеждността на стоманени покривни ферми

Надеждността на стоманените покривни ферми е определена чрез числено интегриране на техните уравнения за вероятността за отказ. Изследването включва три отвора на фермите: 18 m, 24 m и 30 m. Във всеки от тези случаи са разгледани по три типа покривно покритие: леко, среднотежко и тежко. Стоманените ферми са проектирани по българските норми от 1987 г., 2004 г. и Еврокодовете. Използвани са двата алтернативни варианта за комбиниране на товарите в EN 1990 (6.10 и 6.10a-6.10b). Показателят на надеждност β за изброените по-горе варианти е сравнен за 10 български градове с различни климатични условия.

Разработен е специален пакет от програми за оценка на надеждността, включващ: програми на C++ и работни листа на Excel и Mathcad. Плътността на снежната покривка за района на София е определена с помощта на интерполационна зависимост, получена по метода на невронните мрежи.

Най-ниски нива на надеждност се постигат при проектирането по българските норми от 1987 г. Средните стойности са: $\beta=2.38$ леки и $\beta=3.16$ тежки покриви. След направените изменения на българските норми за натоварване през 2004 г. средните стойности на показателя на надеждност се покачват до: $\beta=3.83$ за леките и $\beta=4.52$ за тежките покриви. Това увеличаване на нивото на надеждност е съпроводено с увеличаване на разхода на стомана, достигащо в някои случаи до 60%. Проектирането с използване на комбиниране на натоварването по зависимост 6.10 на EN 1990 води до малко по-високи стойности: $\beta=3.92$ за леки и $\beta=4.64$ за тежки покриви. Средните стойности за алтернативните зависимости 6.10a-6.10b са $\beta=3.82$ за леки и $\beta=4.15$ за тежки покриви.

Преминаването от действащите в момента български норми към Еврокодовете ще доведе до малко увеличаване на разхода на стомана.

Българският национален избор за комбиниране на товарите е вариант 6.10. Това дава адекватна надеждност за тежките покриви, но недостатъчна за леките покриви.

По тази причина в разработката е предложено диференциране на частния коефициент за натоварването от сняг, подобно на процедурата прилагана в българските норми за натоварване на сгради от 1987 г. Когато G_k/S_k е по-малко от 0,8 се предлага частният коефициент за натоварването да бъде 1,7, а в останалите случаи 1,5. Където G_k е характеристикната стойност на постоянния товар и S_k е характеристикната стойност на товара от сняг. Тази процедура увеличава средната стойност на $\beta=4.26$. За сметка на средно увеличение на разхода на стомана с 5,7% вероятността за отказ намалява 4,3 пъти. Стойностите на показателя на надеждност β са изчислени при базов период за натоварването от сняг една година.

Резултатите, получени в това изследване дават отговори на някои въпроси, свързани с въвеждането на Еврокодовете в България. Въпреки, че са изследвани ограничен брой покривни ферми, може да се очакват подобни резултати и за други типове на стоманени покриви.

Част от програмните решения, разработени в дисертацията, са използвани за определянето на натоварването от сняг и вятър със среден период за превишение 50 години при подготвителните работи за изработването на карти за натоварване от сняг и вятър в Националните приложения към БДС EN 1991—1-3 и БДС EN 1991-1-4.

Abstract

Reliability assesment of roof's steel trusses

The reliability of the steel roof's trusses is assessed by numerical integration of its failure probability equations. The investigation include three spans of the trusses: 18 m, 24 m and 30 m. In each of these cases three types of roof covers are tested: lightweight, medium weight and heavyweight. Steel trusses are designed according Bulgarian codes from 1987, 2004 and Eurocodes. Both alternative variants of load combinations in EN 1990 (6.10 and 6.10-6.10b) are used. The reliability index β , for the above mentioned variants, is compared for 10 Bulgarian towns with different climate conditions.

The special software package is developed for the need of the reliability assessment, including: C++ programs, Excel's workbooks and Mathcad worksheets.

Snow density in Sofia is evaluated from meteorological data with interpolation equation, worked out by the neural sets method.

The lowest level of reliability is achieved in design by Bulgarian codes from 1987. The average values are: $\beta=2.38$ for lightweight and $\beta=3.16$ for heavyweight roofs. After changes made in Bulgarian code for loads on buildings in 2004, the level of reliability is risen to average value of $\beta=3.83$ for lightweight and $\beta=4.52$ for heavyweight roofs.

This increase of the level of the reliability leads to the rise of steel consumption reaching up to 60% in some cases. The design according load combination variant 6.10 of EN 1990 gives the slightly higher values: $\beta=3.92$ for lightweight and $\beta=4.64$ for heavyweight roofs. The average values for the alternative variant 6.10a – 6.10 b are: $\beta=3.82$ for lightweight and $\beta=4.15$ for heavyweight roofs. The levels of the reliability for lightweight roofs are almost the same in variant 6.10a-6.10b and contemporary Bulgarian codes. The average values of β for heavyweight roofs designed by Bulgarian codes (2004) are close to variant 6.10.

The transition from the acting Bulgarian codes to the Eurocodes slightly increases the steel consumption.

The Bulgarian National choice for the load combination is variant 6.10. It gives an adequate level of the reliability for heavyweight roofs but it is insufficient for lightweight ones.

That's why the differentiation of the partial coefficient for snow loads is proposed similar to the procedure applied in the Bulgarian code for loads in buildings from 1987.

The partial coefficient for snow load is proposed to be 1.7 when G_k/S_k is less than 0.8 and 1.5 in the other cases. G_k is the characteristic value of the permanent load and S_k is the characteristic value of the snow load. This procedure leads to an average level $\beta=4.26$ for lightweight roofs. The failure probability diminishes 4.3 times in an average 5.7% increase of steel consumption. The probability index β values are calculated for snow load for one year base period.

The results of the research answer some questions related to the Eurocodes introduction in Bulgaria. Although the only limited types of roof trusses are investigated the similar result can be also expected for other types of steel roofs.

Some of the software solutions developed in this work are used for determination of snow and wind loads with 50 years mean recurrence interval (MRI) in preparatory work for wind and snow maps in Bulgarian National applications to BDS EN 1991—1-3 and BDS EN 1991-1-4.