

# ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАТОВАРВАНЕТО ОТ СНЯГ ВЪРХУ СТРОИТЕЛНИТЕ КОНСТРУКЦИИ В БЪЛГАРИЯ

,доц. д-р инж. Иван Тотев , инж. Владимир Яков

## Study of snow loads on structures in Bulgaria

This paper deals with statistical analysis of the meteorological data from 27 sites in Bulgaria during the time period of 1931-1970. The snow dept annual maximums were used for the analysis. For conversion to the snow load was used constant density of  $2 \text{ kN/m}^3$  [12]. The best fitting probability distribution functions were searched for these 27 places. In the majority of cases it was Gumbel's probability distribution function. In some sites the best fitting functions were lognormal or Weibul's distribution. Two sets of snow dept were calculated with return periods of 25 and 50 years. The values with 25 years return period were compared with results used in [14]. No site was found with exceptional snow load among investigated one, according to the definition in [2]. Further investigations are needed for the snow density especially for the region of the Black Sea coast.

### Увод

Натоварването от сняг е едно от основните товари при леки стоманени покривни покрития, столици и ферми. В редица случаи то предизвиква повече от половината от оразмерителните усилия.

Няколкото аварии с човешки жертви в Европа в началото на 2006 година предизвикаха загриженост сред обществото и специалистите. На 2 януари в град Райхенхален в Германия падна покривът на ледена пързалка и загинаха 15 души. Дебелината на снежната покривка в момента на аварията е била 20 cm и предполагаемото ѝ тегло е било по-малко от предвиденото в нормите за натоварване за този район.

На 28 януари 2006 падна покривът на изложбена зала в полския град Хожув. Вероятната причина е натоварването от сняг върху покрива. По време на катастрофата в сградата са се намирали над 700 души. По официални данни загинали 67 души , а 140 са били ранени. Трагедията е могла да бъде и по-голяма , тъй-като 2 часа по-рано в сградата са се намирали 2000 души.

Поредицата от тежки строителни аварии продължи и през февруари. На 23 февруари около 6 часа сутринта пада покривът на Бауманския пазар в Москва. В момента на аварията в сградата е имало около 60 човека. Броят на загиналите е 31 човека. Само ранният час на падането е намалил броя на жертвите. Дебелината на снежната покривка е била 45 – 50 cm.

Трите покрива са били построени през 70<sup>те</sup> години. Натоварването от сняг е около нормативната стойност на за съответния район.

Подобни аварии на леки конструкции от натоварване от сняг има през 80<sup>те</sup> години във Франция. Разрушени са 321 оранжерии с материални щети за около 300 милиона френски франка [5].

В България през зимата на 1982 година също бяха разрушени редица оранжерии и леки стоманени покриви от натоварване със сняг.

Много други подобни сгради в същите райони са останали невредими. Причини за аварията може да има в проектите, в качеството на изпълнението или в начина на експлоатация на покривните конструкции. В продължение на повече от 30 години падналите покриви са изпълнявали своите функции.

Повишаването на натоварването от сняг в нормите за натоварване ще намали вероятността от подобни аварии, но то е свързано с допълнителни материални разходи. По-икономичните решения предполагат по-висок риск при експлоатацията. Има едно оптимално ниво на надеждността на конструкциите, при което сумата от началните разходи и допълнителните средства при експлоатацията ще бъде минимална. Определянето на този оптимум е изключително трудна задача по няколко причини:

- обществено приемливото ниво на риска за строителните конструкции е изключително ниско и това изисква много дълги периоди на прецизни наблюдения на товарите;
- оптимизационната задача предполага приемане на цени за всички загуби, включително и на човешките жертви.

Това засега ограничава прилагането на оптимизационния подход при нормирането на натоварването върху сградите и съоръженията. Нивото на надеждност по метода на граничните състояния се постига чрез прилагането на статистически процедури при определянето на товарите от една страна и на якостите на материалите от друга. За пръв път в Приложение С на Еврокод EN 1990 се нормират нива на надеждност чрез показателя на надеждност  $\beta$  в зависимост от последствията при авария на конструкцията.

### **Статистическа обработка на метеорологичните данни за височината на снежната покривка**

Нормативното натоварване от сняг по Нормите за натоварване на сгради и съоръжения [15] за дадено населено място е определено като средната стойност от годишните максимуми. Тази стойност се определя лесно и не изисква продължителен период на метеорологични наблюдения. Достатъчно е да разполагаме с годишните максимуми за десет поредни години.

Една от основните трудности при определянето на натоварването от сняг е свързана с начина на регистрирането на снежната покривка от Метеорологичната служба. Съгласно стандартите на Световната метеорологична организация е достатъчно да се записва ежедневно дебелината на снежната покривка. По тази причина се използват годишните максимуми на височината на снежната покривка, а не на нейното тегло върху  $1 \text{ m}^2$  от терена. Преминаването от данните за височината на снежната покривка към теглото ѝ се извършва с осреднена стойност на нейната плътност.

В литературата има различни формули, които отчитат редица фактори, влияещи върху плътността на снега [3], [4], [8]. При районирането на Германия за натоварване от сняг за нуждите на Еврокод 1 (EN 1991-1-3) [1] е използвана формулата на Гренцер [3]. В Хърватска [8] са използвани формули за плътността, в които тя зависи от района на страната и от надморската височина. У нас специалистите от Националния институт по метеорология и хидрология към Българската академия на науките (НИМХ към БАН) [12], [13], приемат, че за надморска височина 1000 метра може да се приеме постоянна плътност  $\rho=2 \text{ kN/m}^3$ . Както е показано в [16] методът на невронните мрежи може успешно да се използва за извеждане на зависимост за плътността като функция от височината на снежната покривка и броя на дните от началото на образуването ѝ. Липсата на системни паралелни измервания у нас на височината и теглото на снежната покривка е сериозна пречка за обосновано определяне на осреднената плътност на снега. Особено трудно се определя плътността за крайбрежните райони. На базата на десетилетия от паралелни записи на теглото и височината на снежната покривка в Хърватска са стигнали до извода, че за Адриатическата част на страната им не може да се получи

задоволителна зависимост за плътността и са приели натоварването от сняг да се определя директно от измерванията на теглото на снежната покривка.

Предмет на настоящата статия е определянето на най-подходящите функции на разпределение на годишните максимуми на височината на снежната покривка. От тях се определят стойностите ѝ със зададен период за превишение: Съгласно изискванията на Еврокод 1 [1] той е 50 години. В Наредба №3 [14] е приет среден период на превишение 25 години.

В [10] Гумбел доказва, че ако разделим наличните данни на части и от всяка от тях вземем максималната стойност, то тези максимуми имат едно от трите типа разпределения на Фишер-Типет:

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

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

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

където:

$\mu$ ,  $\beta$ ,  $\lambda$  и  $k$  са параметри на разпределенията.

На фигура 1 са показани трите функции на разпределение.

Фигура 1 Функции на разпределение на Фишер – Типет I (Гумбел), II (Фреше) и III тип (Вейбул)

Подходът на Гумбел да се работи не с всички стойности на наблюдаваната случайна величина, а само с максимумите от отделни нейни съставни части (извадки), се използва и при обработката на метеорологичните данни за натоварването от сняг. От отделните години се взема само максималната стойност и само с тях се извършва анализът за подходящия тип разпределение на Фишер – Типет.

Друг тип разпределение, което се използва при обработката на статистическите данни за годишните максимуми на височината на снежната покривка в страните на Европейския съюз във връзка с преминаването им към системата на Еврокодовете [7] е логнормалното разпределение. Неговата интегрална функция на разпределение има вида:

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

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

където:

$\mu_{\ln H}$  е средната стойност от натуралните логаритми на регистрираните годишни максимуми;

$\sigma_{\ln H}$  е средно квадратичното отклонение на натуралните логаритми на регистрираните годишни максимуми.

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

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

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

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

С методите на линейния регресионен анализ се получават стойностите на коефициентите а и b, при които сумата от квадратите на отклоненията между статистическите данни и кумулативната функция на разпределение от приетия тип е най-малка.

На фигура 2 е показана графиката на кумулативната функция на разпределението I тип (Гумбел) след преобразувания съгласно формула 1a, получена чрез регресионен анализ с помощта на MS Excel.

Фигура 2 Определяне на параметрите на разпределение тип Гумбел за района на София.

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

- по абсцисата се нанасят натуралните логаритми на височината на снежната покривка за съответните годишни максимуми;
- по ординатата се нанася стойността на обратната функция на стандартизираната кумулативна нормална функция на 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.

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

където:

- $F^{-1}$  обратната кумулативна функция на стандартизираното Гаусово разпределение;
- $\mu_{\ln H}$  е средната стойност на натуралния логаритъм на височината на снежната покривка;
- $\sigma_{\ln H}$  е средноквадратичното отклонение на натуралния логаритъм на височината на снежната покривка;

На фигура 3 е показана графиката на това преобразуване, при което данните за годишните максимуми се подреждат приблизително по права линия.

Фигура 3 Определяне на параметрите за логнормално разпределение от метеорологичните данни за района на София.

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

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

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

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

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

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

където:

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

### Резултати от изследването на годишните максимуми на височината на снежната покривка в някои райони на България

В таблица 1 са дадени данните от регресионния анализ на данните от годишните максимуми на височината на снежната покривка за района на София.

**Таблица 1 Данни от регресионния анализ за района на София**

Разпределение	С всички стойности			Без максималната			
	период на повтораемост		$R^2$	период на повтораемост		$R^2$	$H_{\max}/H_{50}$
	25 г.	50 г.		25 г.	50 г.		
I тип	52,6015	60,2472	0,9832	47,2129	53,7139	0,995	1,21012
II тип	69,6412	95,7734	0,9586	64,3714	87,3654	0,9362	0,744
III тип	45,3491	49,5257	0,9638	42,0722	45,7088	0,9768	1,42205
Логнормално	54,8448	64,8032	0,9973	50,6959	59,3881	0,9941	1,09449
НИМХ	71	Абсолютен максимум 80 cm		Максимум за периода 65 cm			

Данните от таблицата са разделени на две части: в лявата част са резултатите от регресионния анализ, в който участват всички стойности на годишните максимуми за периода от 1931 до 1970 година, систематизирани в [11]. От тях са получени стойностите на височините на снежната покривка с повтораемост един път на двадесет и пет и петдесет години. Това съответства на нормативната стойност от Наредба №3 [14] и на характеристичната съгласно Еврокод 1 [1]. Най-малки стойности се получават при разпределение тип III (Вейбул), след това на тип I, на трето място е при логнормалното разпределение и най-високи са стойностите при разпределението на Фреше. От фигура 1 се вижда, че в дясната част от функциите на разпределение най-високи стойности има разпределението на Фреше, а най-ниски при разпределението на Вейбул. В статистиката това се нарича ефект на опашките. Разпределението на Фреше е известно като разпределение с “тежка” опашка. То носи името на видния френски математик Фреше, известен с изследванията си в областта на разпределенията с “тежки” опашки.

В третата колона са дадени стойностите на показателя  $R^2$ , който е равен на квадрата на коефициента на корелация. Той би бил равен на единица, ако всички данни бяха разположени на правата линия от регресионния анализ. Това може да се получи само при наличие на функционална зависимост. Стойностите от таблица 1 показват, че най-добра апроксимация за района на София се постига с логнормалното разпределение, а относително най-слаба при разпределението на Фреше. Дори за него, коефициентът на корелация  $k_r=0,979$  е висок. Това дава основание на екипа на НИМХ [12], [13] да го използва за нуждите на Наредба №3 при определянето на височината на снежната покривка с период на превишение 1 път на 25 години. Получените резултати са отклонения в полза на сигурността, но това води до неикономични решения на конструкциите на сградите и съоръженията. Направените изследвания за двадесет и седем населени места в страната показват, че за нито едно от тях разпределението на Фреше не е с най-голям коефициент на корелация. Изследванията в Германия [7] за 331 метеорологични станции дават следните резултати за най-подходящия тип на разпределение: логнормално разпределение 52%, Гумбел 23% и Вейбул 25%.

Относително тесните граници на изменение на коефициентите на корелация при различните функции на разпределение налагат да се подхожда много внимателно при анализа на получаваните резултати. От една страна ниските стойности повишават риска, но отиването в другата посока е свързано със значителни материални разходи. Отчитането на опита на другите страни е много важен фактор при вземането на решения за нормирането на натоварването от сняг.

В дясната част на таблица 1 са показани резултатите от регресионен анализ, проведен при отстраняване на максималната стойност, регистрирана в разглеждания период (1931-1970 г.). Това е направено, защото в Еврокод 1 се предвижда възможността при определени условия дадено населено място да се разглежда като район с изключително голям снеговалеж. За такива райони се използва извънредна изчислителна ситуация, в която изключително големият снеговалеж е особеното натоварване. Едно населено място е район с изключително голям снеговалеж, ако максималната стойност в поредицата от статистички данни е 1,5 пъти по-голяма от характеристичната, определена без вземането ѝ под внимание.

В последната колона на Таблица 1 е показано отношението между максимумът, регистриран за разглеждания период (1931-1970) към височината с период на превишение 1 път на 50 години без вземането му под внимание. За района на София, дори при разпределение III тип, отношението е по-малко от 1,5. Подобни резултати се получиха и за останалите 26 изследвани населени места. От тук може да се направи изводът, че те не са райони с изключителни снеговалежи.

В таблица 2 са дадени обобщените резултати от изследванията, проведени за 27 населени места в страната.

**Таблица 2**

№	Град	Данни от НИМХ		Получени резултати			
		H <sub>25</sub>	Абс. максимум	Разпределение тип	H <sub>25</sub>	H <sub>50</sub>	R <sup>2</sup>
1	Бургас	43	80	Ш	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	Ш	64,6	71,0	0,9937
5	Видин	102	102	I	93,3	108,4	0,9744
6	Враца	89	93	Ш	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	Ш	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	Плевен	76	80	I	63,8	72,7	0,9913
14	Пловдив	48	63	I	50,3	57,6	0,9925
15	Русе	90	102	Ш	92,2	107,4	0,9849
16	Свищов	100	103	I	96,1	111,2	0,9915
17	Силистра	69	127	I	55,2	63,2	0,9851
18	Сливен	25	82	Логнормално	47,3	65,1	0,9903
19	Смолян	70	115	I	109,0	125,2	0,9939
20	София	71	80	Логнормално	54,8	64,8	0,9973
21	Ст. Загора	56	58	I	46,8	55,0	0,9761
22	Търговище	86	95	I	83,3	95,5	0,9914
23	Угърчин	85	80	Ш	83,2	92,6	0,993
24	Хасково	59	95	I	74,3	86,0	0,9804
25	Чирпан	55	80	Ш	61,5	70,2	0,9922
26	Шумен	77	145	I	64,2	73,7	0,9774
27	Ямбол	47	48	Ш	37,9	44,5	0,9876

### Изводи от получените резултати

Сравнението между получените резултати за 27 населени места с данните на НИМХ за Наредба №3 [14] 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 [14].,

С корекция на Наредба № 3 бяха променени стойностите за района на София и Сливен и сега разликата при тях е по-малка.

За по-голямата част от населените места от Северна България при използването на регресионен анализ височината на снежната покривка със зададения период на превишение е по-малка. Намалването на нормираните стойности може да доведе до по-икономични решения за строителните конструкции.

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. Те са 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 [9] от 1931-1970 година обхващат редица години със сурови зими за районите на нашето Черноморие през 40<sup>те</sup> и 50<sup>те</sup> 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. Периодът от 30 години е доста кратък и за определянето на натоварвания върху строителни конструкции той се оценява като абсолютно минимален.

От друга страна приемането на височини, близки до абсолютния максимум при запазване на единната за цялата страна плътност от 2 kN/m<sup>3</sup> ще доведе до нереално високи резултати. Както показват изследванията в Хърватска [8], 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 от 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<sup>3</sup>. Такива паралелни измервания ще позволят да се определят достатъчно сигурни и едновременно с това икономични стойности на натоварването от сняг.

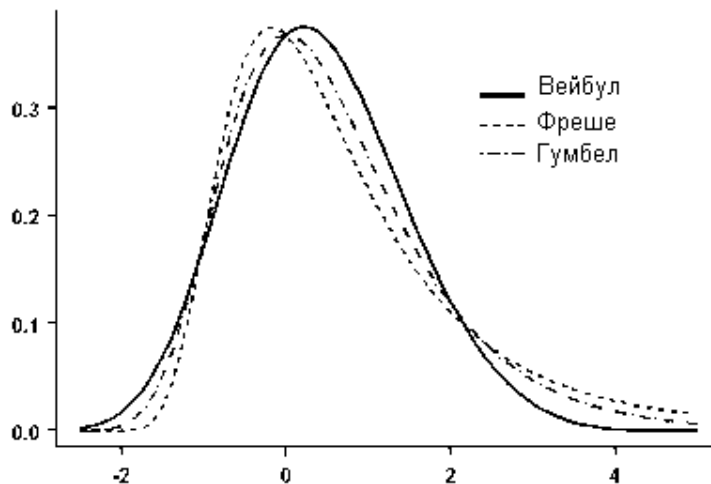
## ЛИТЕРАТУРА

1. EN 1991-1-3:2003. Eurocode 1. Actions on structures. General actions. Snow loads
2. Del Corso R., Snow Loads on Structures: Research and Standardization, [http://bativille.cstb.fr/CenStarWS/Univ\\_Pisa.pdf](http://bativille.cstb.fr/CenStarWS/Univ_Pisa.pdf) , 2002.

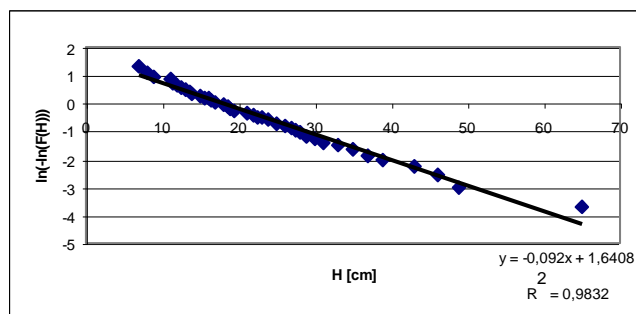


3. Gränzer, M.: Angabe von Schneelasten geografisch nach Zonen gegliedert, für den Eurocode "Lasten" Teil 7. (Evaluation of Snow Loads for the Eurocode on Actions Part 7, depending on geographical zones) Landesstelle für Bautechnik Baden-Württemberg, Tübingen 1989.
4. Joint Committee of Structural Safety (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.
5. Ministère de L'Équipement de France-Neige de Decembre 90 - Analyse des sinistres
6. Soukhov D., "European Snow Loads Research Program - Purposes and tasks", LACER, Vol. 2, Leipzig, 1997
7. Soukhov D., "The Probability Distribution Function for Snow Load in Germany", LACER, Vol. 3 Leipzig, 1998
8. Zaninović K., M. Gajić-Čapka, B. Androić, I. Džeba, D., Određivanje karakterističnog opterećenja snijegom (Determination of a typical snow load), GRAĐEVINAR 53 (2001) 6.
9. БДС EN 1990:2002 Еврокод 0. Основи на конструктивното проектиране
10. 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.
12. Моралийски Е., П. Иванов, Райониране на територията на НРБ за по снегово натоварване, "Хидрология и метеорология", кн.2, 1979.
13. Моралийски Е., Ц. Димитров, Снегово натоварване на територията на България, "Строителство", кн.5, 2006.
14. 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 г.)
15. Натоварвания и въздействия върху сгради и съоръжения. С. 1990
16. 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<sup>a</sup>, София, 2006.

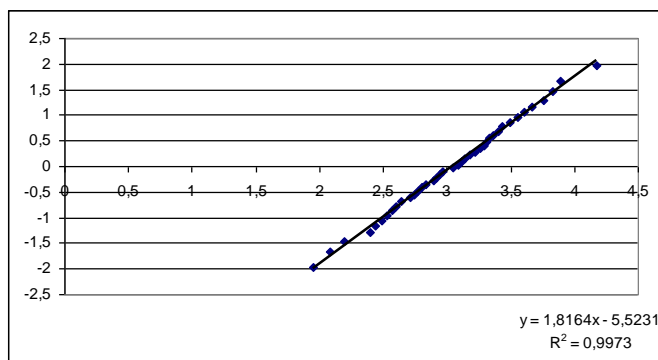
## Графики



**Фигура 1** Функции на разпределение на Фишер – Типет I (Гумбел), II (Фреше) и III (Вейбул) тип



**Фигура 2** Определяне на параметрите на разпределение тип Гумбел за района на София.



**Фигура 3** Определяне на параметрите за логнормално разпределение от метеорологичните данни за района на София.