

д-р инж. Венци Божков, e-mail Bojkov_fhe@uacg.bg
 д-р инж. Мартина Печинова, e-mail martinapechinova@abv.bg
 д-р инж. Силвия Кирилова-Йончева, e-mail silvia79kirilova@abv.bg

РЕГИОНАЛНИ ЗАВИСИМОСТИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МАКСИМАЛНИЯ ОТТОК ВЪВ ВИСОКИТЕ ЧАСТИ НА ВОДОСБОРА НА РЕКА МАРИЦА

REGIONAL RELATIONSHIPS FOR DETERMINING THE MAXIMUM RUNOFF ON THE HIGH AREA OF MARITZA BAZIN

Dr. V.Bojkov, Dr. M.Pechinova, Dr. S.Kirilova

Summary: Two different approaches were used in the paper to obtain regional relations for the maximum runoff module and coefficient of variation.

First approach – two factor regional relations of a type $Y = f(A)$ and $Y = f(H)$, where Y is denoted any related hydrologic variable, which is calculated as function of the river basin area A km² or as a function of the mean altitude of the basin H m.

Second approach – by using genetic programming were generated relations connecting certain hydrologic characteristic as a function of many variables of the river basin, for example: $q = f(A, H, I, J, p, R, C_v, \dots)$, where A and H are respectively area and altitude of the river basin, I and J are mean slope of the river and river basin, and R is the maximum daily rainfall depth.

ВЪВЕДЕНИЕ

Във високите части на водосборния басейн на река Марица съществуват редица хидротехнически съоръжения, за експлоатацията на които е необходимо да се разполага с редица хидроложки характеристики, както за самите съоръжения, така и за речните течения във водосбора.

За сигурността на хидротехническите съоръжения във водосборния басейн на р. Марица, а именно яз. Белмекен – горно стъпало на каскада Белмекен – Сестримо - Чаира и яз. Чаира - долен изравните на ПАВЕЦ Чаира, от голямо значение е разработването на регионални зависимости за характеристиките на максималния отток.

В основата за получаването на тези характеристики са данните от многогодишните наблюдения и измервания на хидроложките и метеорологичните елементи в станциите от опорната хидрометрична и метеорологична мрежа.

При получаването на регионални зависимости за характеристиките на максималния отток в изследването са използвани и различни физикогеографски характеристики на водосбора.

Съществуват различни методи за получаване на регионални зависимости при наличие на данни. В настоящата разработка за тази цел са използвани както класически статистически изчисления, така и един от интелигентните методи за обработка на данни, а именно генетичното програмиране.

Обект на изследванията е валежа, модула и вариацията на максималния отток за водосборния басейн на река Марица до гр. Белово.

Физикогеографски характеристики

Водосборния басейн на река Марица над гр. Белово е типичен високопланински водосбор с обща площ от 741 km² и средна надморска височина от 1167 m. Във водосбора са изградени два язовира, които са част от каскада Белмекен – Сестримо – Чаира. На река Крива е изграден яз. Белмекен на кота 1900 m, а на р. Чаирска десен приток на река Крива е изграден яз. Чаира, който е долен изравнител на ПАВЕЦ Чаира.

Хидрологична изученост

Във водосборния басейн на река Марица последователно са били

изградени и са се провеждали наблюдения върху оттока на реките Чаирска, Крива река, Очушница, Яденица и

Костенска чрез хидрологичните станции от опорната хидроложка мрежа на НИМХ – БАН.

Опорна хидроложка мрежа

Таблица 1. Орохидрографски характеристики на станции от опорната хидрологична мрежа, използвани в изследването

Станция	Река	Пункт	Дължина от извора	Среден наклон	Площ	Надм. вис.	Наклон басейн	Открита	Закрита
№	-	-	km	‰	km ²	m	-	година	година
246	Чаирска	м. Маира	8.25	117.3	20.50	1730	0.408	1949	1978
248	Марица	гр. Белово	66.05	34.4	741.00	1167	0.284	1951	Не е
231	Марица	Радуил	29.66	84.1	96.68	1016	0.443	1946	Не е
237	Костенецка	лет. Г. Димитров	15.20	18.4	47.30	1900	0.481	1947	Не е
432	Яденица	Голямо Белово	21.5	58.84	173.00	1455	0.762	1962	Не е
244	Крива река	с. Сестримо	23.65	63.4	90.30	1683	0.263	1966	1973
236	Очушница	с. Очуша	12.35	44.7	57.75	856	0.242	1947	Не е

Характеристики на максималния отток

Характеристиките на максималния отток са разработени в следната методична последователност:

- От Хидрологичния справочник за реките в Р. България и закупени данни от НИМХ за годишните максимални водни количества се съставят хидрологични редове за всички станции от **Таблица 1**;

- съставените редове се привеждат към период с наблюдения 1947 – 2005 г. (59 години);

- изчисляват се статистическите параметри на хидроложките редове и се изследва тяхната представителност. Използвани са критериите на Нюман

за случайност, на Уилкоксън за еднородност, и на цикличност чрез филтриран ходограф. По дадените критерии и за периода 1947-2005 редовете са представителни при общоприетите нива на значимост – 5 % за средната стойност.

- оценките за статистическите параметри са направени по два метода - метод на “моментите” и “метод на максималното правдоподобие”. Стандартните грешки на средната стойност и на вариацията са значително по-малки от приеманите като допустими 10 и 15 %. Статистическите параметри на хидроложките редове за всяка една станция, за целия период на наблюдения са дадени в **Таблица 2**.

Таблица 2. Статистически параметри на хидроложките редове, период - 1947 - 2005

Характеристика	Q_{max246}	Q_{max248}	Q_{max231}	Q_{max237}	Q_{max432}	Q_{max244}	Q_{max236}
Средно Q_{maxav} m^3/s	2.040	117.810	18.430	6.113	8.983	18.57	8.722
Вариация Cv -	0.400	1.207	0.740	0.932	0.776	1.000	1.811
Асиметрия Cs -	2.000	12.000	1.628	1.833	2.900	8.000	12.000

На основата на анализ на получените статистически параметри и последователностите в изменението на годишните максимални водни количества се достига до заключението, че изследванията трябва да се определят по възможно максималния обем информация от наблюдения, т.е. за периода 1947-2005 г. В този период се включват и изключително големите водни количества, преминали по време на наводненията през м. август 2005 година.

Валежи

Интензивните дъждове са главният оттокоформиращ фактор на максималния отток.

За определяне на максималните денонощни валежни височини с характерна обезпеченост е използвана Методиката за определяне на максималните дъждове на проф. Герасимов, която е част от Отрасловата нормала на ГУХМ – ”Методично ръ-

ководство за определяне на характеристиките на максималния отток на реките в България” (приета от КОПС при МС 1980 г.). Методиката е адаптирана конкретно за българските условия, доказала е своята надеждност, точност и приложимост в решаването на практически задачи и е широко използвана при изчисляване на интензивни валежи и максимални водни количества, като дава много добри резултати.

Максималните денонощни валежни височини с характерна обезпеченост са определени към всяка от избраните ХМС във водосбора на р. Марица до гр. Белово, като е използвано районирането на територията на нашата страна по денонощен максимум на дъжда и средните надморски височини на водосборите до створа на съответните ХМС.

Получените максимални денонощни валежни височини с характерна обезпеченост към избраните ХМС са представени в Таблица 3.

Таблица 3. Максимални денонощни валежни височини с характерна обезпеченост

Река, пункт	ХМС №	Район за денонощния макс. на дъжда	Район за редуционните криви на дъждовете	Средно-многогодишна макс. денонощна валежна височина	Максимални денонощни валежни височини h_p с обезпеченост P						
					0.01%	0.1%	1%	5%	10%	20%	50%
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Марица - с.Радуил	231	XVIII	VIII	58	247	187	135	101	87	73	54
Очушница – с.Очуша	236	XVIII	VIII	51	217	165	118	89	77	64	47
Стара река (Костенецка) лет. “Г.Димитров”	237	XVIII	VIII	57	243	184	132	99	86	72	53
Чаирска – м. Чаира	246	XVIII	VIII	56.5	241	182	131	98	85	71	52
Крива река – с. Сестримо	244	XVIII	VIII	56	239	181	130	97	84	71	52
Марица – гр. Белово	248	XVIII	VIII	53	226	171	123	92	80	67	49
Яденица – с.Голямо Белово	432	XVIII	VIII	55.2	235	178	128	96	83	70	51

ГЕНЕРИРАНЕ НА РЕГИОНАЛНИ ЗАВИСИМОСТИ ЗА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА МАКСИМАЛНИЯ ОТТОК

Двуфакторни регионални зависимости

Изчислените статистически параметри за пунктовете от опорната хидроложка мрежа дават възможност

Таблица 4. Орохидрографски и хидроложки характеристики на годишния максимален отток към всеки пункт от опорната хидроложка мрежа

Пункт /ХМС	A	H	L	I	J	Q _{maxav}	q _{maxav}	C _v
	[km ²]	m	km	‰	-	m ³ /s	m ³ /s.km ²	-
231	96.68	1016	29.7	84.1	0.443	18.434	0.191	0.74
237	47.3	1900	15.2	18.4	0.481	6.113	0.129	0.932
236	57.75	856	12.35	44.7	0.242	8.722	0.151	1.811
246	20.5	1730	8.25	117.3	0.408	2.040	0.1	0.4
244	90.3	1683	23.65	63.4	0.263	18.573	0.206	1
248	741	1167	66.05	34.4	0.284	117.810	0.158	1.207
431	248.5	778	44.6	-	-	23.778	0.096	0.739
432	173	1455	21.5	-	-	8.983	0.052	0.776
241	389.1	787	51.62	10.3	0.183	42.1	0.108	0.909

p [%] – обезпеченост;

A [km²] – площ на водосбора над створа на съответната ХМС;

H [m] – средна надморска височина на водосбора над створа на съответната ХМС;

L [km] – дължина на реката от извора до створа на съответната ХМС;

I [‰] – среден наклон на реката от извора до створа на съответната ХМС;

J [-] – среден наклон на водосбора над створа на съответната ХМС;

Q_{maxav} [m³/s] - средно многогодишно максимално водно количество;

q_{maxav} - [m³/s.km²] - модул на средно многогодишния максимален отток;

C_v – коефициент на вариация на максималните водни количества за створа на съответната ХМС;

На основата на получените хидроложки параметри на максималния отток в Таблица 4 се построяват две регионални зависимости, показани на Фиг. 1. Получените двуфакторни зависимости са между модула на средните многогодишни максимални водни количества и площта на водосборните басейни, като се очертава следния критерий: за малки площи на

за регионализиране на хидроложките параметри на максималния отток за водосборния басейн на р. Марица. В Таблица 4 са представени орохидрографските характеристики към всеки пункт от опорната хидроложка мрежа и изчислените хидроложки характеристики на годишния максимален отток.

водосборните басейни до 100 км² е в сила зависимост (1), а за водосборни басейни по големи от 100 км² е в сила зависимост (2).

(1) За A < 100 км² модулът на максималния отток е

$$q_{maxav} = 0.0803 \cdot e^{0.0105 \cdot A} \text{ [m}^3\text{/s.km}^2\text{]},$$

където оценките на получената зависимост са: R² = 0.9959 и E_{ср.} = 4.9 %

(2) За A > 100 км² модула на максималния отток е

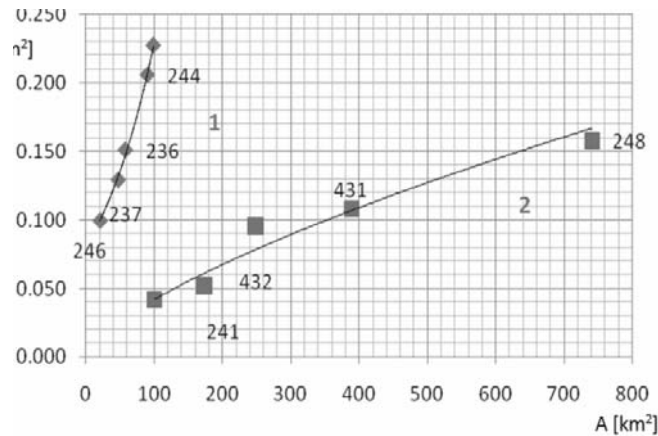
$$q_{maxav} = 0.0017 \cdot A^{0.6958} \text{ [m}^3\text{/s.km}^2\text{]},$$

където оценките на получената зависимост са: R² = 0.8921 и E_{ср.} = 8.5 %

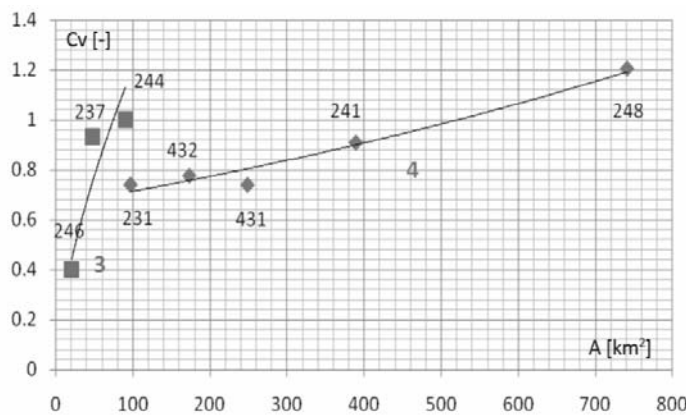
На основата на Таблица 4 са построени регионални зависимости, показани на Фиг. 2. Изведените две двуфакторни зависимости между коефициента на вариация за средните годишни максимални водни количества и площта на водосборните басейни се оформят по получените критериални оценки за модула на максималния отток.

(3) За A < 100 км² коефициентът на вариация за модула на максималния отток е

$$C_{v,max} = 0.0643 \cdot A^{0.6368},$$



Фиг. 1. Зависимости между модула на средните многогодишни максимални водни количества (специфичен отток в $m^3/s.km^2$) и площта на водосборните басейни за всеки пункт



Фиг. 2. Зависимости между коефициента на вариация за годишните максимални водни количества и площта на водосборните басейни към всеки пункт

където оценките на получената зависимост са: $R^2 = 0.8618$ и $E_{cp.} = 5.5 \%$ (4) За $A > 100 km^2$ коефициентът на вариация за модула на максималния отток е

$$Cv_{max} = 0.6596 \cdot e^{0.0008 \cdot A},$$

където оценките на получената зависимост са: $R^2 = 0.9456$ и $E_{cp.} = 0.35 \%$

Многофакторни регионални зависимости, получени по метода на генетичното програмиране

Генетичното програмиране (ГП) е относително нов универсален метод, който генерира компютърни програми (математически зависимости) за формализация (математическо описание) на различни проблеми. Алгоритмите на ГП са инспирирани от теорията за еволюцията и съвременното разбиране за биологията. ГП принадлежи към класа вероятностни търсещи процедури, известни като еволюционни алгоритми (ЕА).

Основната отличителна черта на ГП е, че то прави своето търсене на решение за всеки определен проблем в пространство от математически зависимости и използва и манипулира дървовидни структури в последователността на изследване. Едно от успешните приложения на ГП в областта на автоматичното генериране на програми /математически зависимости/ е при символната регресия, приложена върху експериментални данни, където то търси математическото описание в символна форма, което най-точно да представя процеса по краен брой стойности на извадката за даден експеримент, взети от множествата на независимите и зависими променливи. За да изпълни тази задача ГП използва физичната символна система, разделена в две множества. Първото множество се нарича „терминално (крайно) множество” и то се състои от всички символи, които могат да се

употребяват за означаване на променливи и константи. Съдържанието на това множество за всеки един случай се определя в зависимост от естеството на проблема, който предстои да бъде решен. Второто множество се нарича „функционално множество” и то се състои от всички основни математически оператори, които се използват при формирането на функция от вида $f(\cdot)$. Като пример функционалното множество може да съдържа следните оператори $+$, $-$, $*$, $/$,

\wedge , $\log()$, $\sin()$, ...} в зависимост от възприетата комплексност на регресията.

За входните данни за водосбора на река Марица дадени в Таблица 5 бяха проведени числени експерименти за намиране при различни обезпечености на зависимости за модула на максималния отток $q_{max p}$ от определени орохидрографски и метеорологични елементи.

Таблица 5. Изходни данни за числените експерименти с генетичното програмиране

Станция №	237	236	231	246	244	432	248
река	Костенецка	Очушница	Марица	Чаирска	Крива река	Яденица	Марица
пункт	лет. Г. Димитров	с. Очуша	с. Радуил	м. Маира	с. Сестримо	с. Голямо Белово	гр. Белово
$A [m^2]$	47.30	57.75	96.68	20.50	90.30	173.00	741.00
$H [m]$	1900.00	856.00	1016.00	1730.00	1683.00	1455.00	1167.00
$L [km]$	15.200	12.350	29.660	8.250	23.650	21.500	66.050
$I [‰]$	18.400	44.700	84.100	117.300	63.400	58.840	34.400
$J [-]$	0.481	0.242	0.443	0.408	0.263	0.762	0.284
$Q_{maxav} [m^3/s]$	6.113	8.722	18.430	2.040	18.573	8.983	117.810
$q_{maxav} [m^3/s.km^2]$	0.129	0.151	0.191	0.100	0.206	0.052	0.158
C_v	0.932	1.811	0.740	0.400	1.000	0.776	1.207
$R [mm]$	57.000	51.000	58.000	56.500	56.000	55.20	53.000
$Q_{max0.1\%} [m^3/s]$	40.350	175.900	93.310	7.180	203.050	60.320	1625.000
$q_{max0.1\%} [m^3/s.km^2]$	0.850	3.050	0.970	0.350	2.250	0.440	2.190
$Q_{max1\%} [m^3/s]$	25.800	69.630	64.500	4.870	92.140	35.210	558.000
$q_{max1\%} [m^3/s.km^2]$	0.545	1.206	0.667	0.237	1.020	0.257	0.753
$Q_{max5\%} [m^3/s]$	16.890	29.830	45.000	3.560	46.630	21.950	310.000
$q_{max5\%} [m^3/s.km^2]$	0.357	0.517	0.465	0.174	0.516	0.160	0.418
$Q_{max10\%} [m^3/s]$	14.510	23.617	36.360	3.047	33.440	18.840	0.138
$q_{max10\%} [m^3/s.km^2]$	0.307	0.409	0.376	0.149	0.370	0.138	0.290

$p [‰]$ – обезпеченост;
 $A [km^2]$ – площ на водосбора над створа на съответната ХМС;
 $H [m]$ – средна надморска височина на водосбора над створа на съответната ХМС;

$L [km]$ – дължина на реката от извора до створа на съответната ХМС;
 $I [‰]$ – среден наклон на реката от извора до створа на съответната ХМС;
 $J [-]$ – среден наклон на водосбора над створа на съответната ХМС;

$R [mm]$ – средна многогодишна максимална 24-часова валежна височина за водосбора над створа на съответната ХМС;

C_v – коефициент на вариация на максималните водни количества за створа на съответната ХМС;

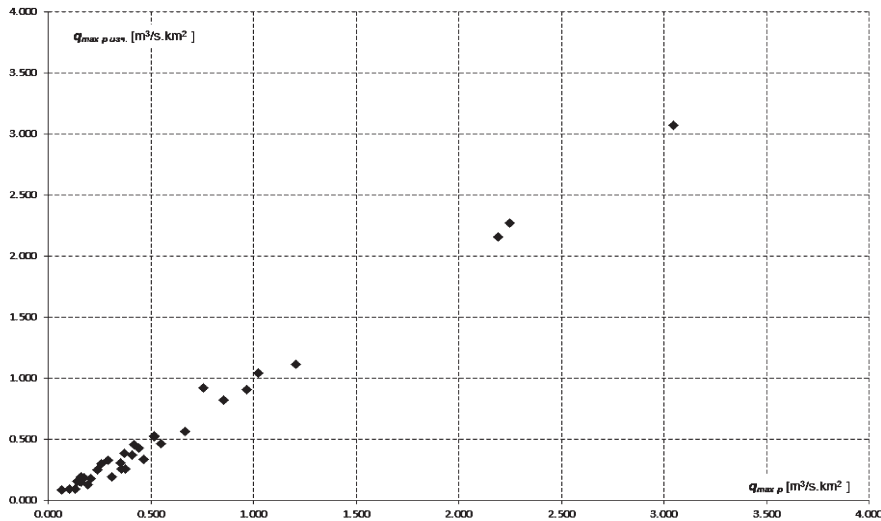
$q_{max p} [m^3/s.km^2]$ – модул на максималния отток за обезпеченост p .

Получени резултати

Зависимост за модула на максималния отток:

$$(5) \quad q_{max p} = \frac{C_v^3 R^{0.25}}{(1 + C_v^2 p^{0.5})(2.41 + C_v R^{0.5} + C_v^2)}$$

с $RMS = 0.0612$; $CoD = 0.9921$ и $E = 10.998\%$

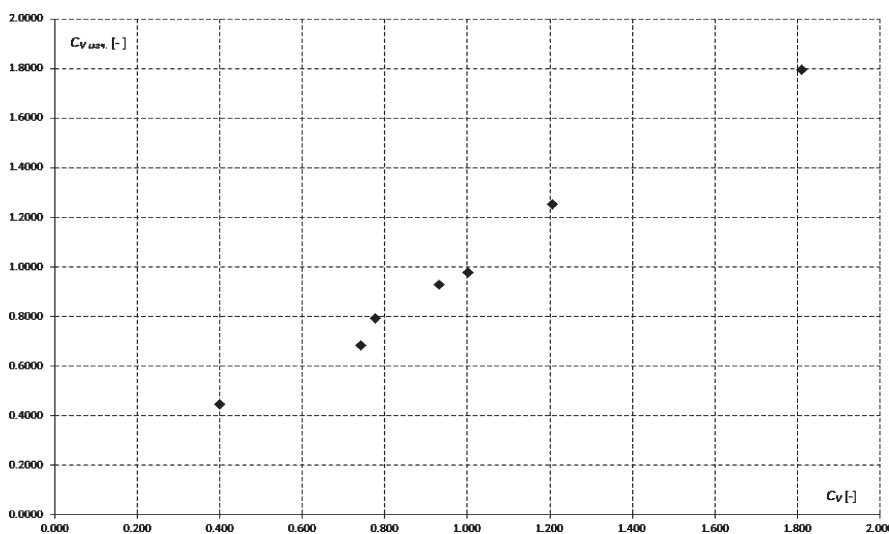


Фиг. 3. Изчислени стойности на $q(p)$ по зависимост (5) към входните стойности на $q(p)$

Зависимост за коефициента на вариация:

$$(6) \quad q_{max p} = \frac{C_v^3 R^{0.25}}{(1 + C_v^2 p^{0.5})(2.41 + C_v R^{0.5} + C_v^2)}$$

с $RMS = 0.0335$; $CoD = 0.9934$ и $E = 3.61\%$



Фиг. 4. Изчислени стойности на C_v по зависимост (6) към входните стойности на C_v

Числени оценки за грешката са: средно квадратична грешка (RMS), коефициент на детерминация (CoD), и средна вероятна грешка (E). Използвани са следните изрази за изчисляване на избраните оценки:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

$$CoD = 1 - \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}_i)^2}$$

$$E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \Delta\sigma^2}{N-1}}$$

$$\Delta\sigma = \frac{X_i - \bar{X}_i}{X_i} 100$$

където:

X – е измерената стойност на зависимата променлива;

\bar{X}_i – е изчислената стойност на зависимата променлива;

\bar{X}_i – е средната стойност на хидроложката редица на зависимата променлива;

N – е дължината на времевите хидроложки редици.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За целите на настоящото изследване са използвани две групи подходи за генериране на регионални зависимости:

- Първа група – двуфакторни регионални зависимости – използват се зависимости от вида $Y = f(A)$ и $Y = f(H)$, където с Y е означена произволна хидроложка променлива, която се изчислява като функция на площта на водосборния басейн – $A \text{ km}^2$ или като функция на средната надморска височина на точките или на водосборния басейн $H \text{ m}$;

- втора група – посредством метода на „генетично програмиране”, с който е възможно да се генерира подходяща

зависимост, която изобразява определена хидроложка характеристика във функция от множество характеристики на пространството и на основни хидроложки характеристики, в частност на водосборния басейн, например: $q = f(A, H, I, J, p, H_{24}, C_{v_{H24}} \dots)$, където A и H са съответно площта на водосборния басейн и средната надморска височина на този басейн, I и J са съответно средният наклон на реката и на водосборния басейн, изразени в ‰, а H_{24} – максималната денонощна валежна височина.

Оценките за качество на зависимостите се основават на класическите статистически оценки и включват:

R^2 – критерий – популярна статистическа оценка, включваща коефициента на множествена корелация на степен 2;

E_{cp} – средна стандартна грешка в процентно изражение, което от инженерна гледна точка е най-сигурен показател за качеството на дадена зависимост;

RMS – средна квадратична грешка.

От **Фигури 1 и 2** и зависимостите (1), (2), (3) и (4) се вижда, че изведените двуфакторни районни зависимости са с добри показатели. Многофакторните регионални зависимости, получени чрез генетично програмиране, показват също много добро качество, както се вижда от графиките на **Фигури 3 и 4**. И двата вида зависимости могат да се използват в практиката за изчисляване на хидроложките параметри на максималния отток за всеки створ във високите части на водосбора на река Марица до град Белово.

Регионалният анализ е един от най-подходящите методи за изследване на такива случайни величини, каквито са максималните валежи и максималния отток, тъй като чрез него се обхващат всички особености на разглеждания район. Методът на регионализацията освен това е и един от най-добрите способности за определяне на оразмерителни характеристики за места, в които липсват каквито и да е данни от измерванията. Получените по този

метод регионални зависимости дават възможност на изследователя да определя максимални водни количества с характерна обезпеченост за произволен пункт от водосбора на река Марица до град Белово сравнително лесно и за много кратко време. Изборът на това, кои регионални зависимости да бъдат използвани за практически цели зависи от наличната

информация за включените в зависимости променливи.

Необходимо е да се отбележи, че поради присъщата на метеорологичните и хидрологичните фактори изменчивост, получените регионални зависимости могат да се използват за практически цели в периода до 2018-2020 г., след което трябва да се преоценят.

ФЕДЕРАЦИЯ НА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИТЕ СЪЮЗИ (ФНТС)

ИСКАТЕ ЛИ ДА ОТГОВОРИТЕ НА ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВОТА НА ВРЕМЕТО? ПОТЪРСЕТЕ ФНТС ЗА:

Научно – технически конференции, симпозиуми, панаири и други изяви у нас и в чужбина;

Семинари, курсове и школи за професионална квалификация и преквалификация;

Информационна и издателска дейност на високо професионално равнище;

Ползване на конферентни и изложбени зали, симултантна и офис техника, научно – технически филми и др.

ДОВЕРЕТЕ СЕ НА ПРОФЕСИОНАЛИЗМА И КОМПЕТЕНТНОСТТА НИ! ЗА КОНТАКТИ С ФНТС:

1000 София, ул. Г. С. Раковски № 108
Тел: 987 72 30, факс 986 16 19, 987 93 60