

ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ – СОФИЯ

Юбилейна приложна научно-техническа конференция
„65 години Хидротехнически факултет и 15 години немскоезиково обучение”

6–7 ноември 2014
6–7 November 2014

International Jubilee Conference
„65th Anniversary Faculty of Hydraulic Engineering and 15th Anniversary Hydraulic Engineering in German”

ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY – SOFIA

XLVII ^{ТОМ}
vol.

2014

св.
fasc. I-A

РЕГИОНАЛНИ ЗАВИСИМОСТИ ЗА МАКСИМАЛНИЯ ОТТОК В СРЕДНОТО И ДОЛНОТО ТЕЧЕНИЕ НА РЕКА МАРИЦА

М. Печинова¹, В. Божков²

Ключови думи: хидрология, максимален отток, регионални зависимости, генетично програмиране

Научна област: инженерна хидрология, хидравлика и водно стопанство

РЕЗЮМЕ

Методите за определянето на оразмерителните характеристики на максималния отток са различни, в зависимост от характерните условия на района и от наличните данни. Регионалният анализ е един от най-подходящите методи за получаване на търсени характеристики, когато липсват измервания в пункта, който е обект на изследване.

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

Обект на настоящата разработка е средното и долното течение на река Марица и нейните притоци.

1. Въведение

Максималният отток е сложна верига от причинно-следствени явления, които се изменят непрекъснато в пространството и времето. Например атмосферните валежи са следствие от сложни атмосферни процеси, които се развиват над водосборния басейн. Валежите са едновременно с това и главната причина за формирането на максималния отток.

¹ Мартина Д. Печинова, доц. д-р инж., кат. “Хидравлика и хидрология, УАСГ, бул. “Хр. Смирненски” № 1, 1046 София, e-mail: martinapechinova@abv.bg

² Венци Хр. Божков, доц. д-р инж., кат. “Хидравлика и хидрология, УАСГ, бул. “Хр. Смирненски” № 1, 1046 София, e-mail: bojkov_fhe@uacg.acad.bg

Има различни методи за определяне на характеристиките на максималния отток, в зависимост от характерните условия на района и най-вече от наличните данни. 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.

Регионалният анализ е един от най-подходящите методи за получаване на търсени характеристики, когато липсват измервания в пункта, който е обект на изследване. Когато има достатъчно налична информация от други станции в разглеждания район, техните разпределения се използват, за да бъде получена една обобщена районна крива на разпределение. Така изчислената регионална крива по-нататък може да се използва за определяне на годишни водни количества за всеки един пункт без измервания в разглеждания район.

Методът на регионалните зависимости се свежда до построяване на емпирични зависимости между търсената характеристика на оттока и някакъв подходящ обединяващ индекс (хидроложки или физико-географски) на изменение на тази характеристика в разглеждания район. Такъв индекс могат да бъдат характеристиките на водосборните басейни, най-често водосборната площ или надморската височина.

Съществуват различни методи за получаване на регионални зависимости. 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 настоящата разработка е средното и долното течение на река Марица и нейните притоци – достатъчно обширен регион, обхващащ различни и нееднородни във физико-географско и орохидрографско отношение водосбори.

2. Хидрологична изученост на водосбора на река Марица

В басейна на река Марица е изградена достатъчно гъста мрежа от хидрометрични станции за измерване на хидроложките величини.

В разработката са използвани данни от наблюдението на оттока в 8 ХМС – 4, разположени по главното течение на р. Марица и 4 – по притоците ѝ. В табл. 1 са показани основните орохидрографски параметри на реката към използваните ХМС.

Таблица 1. Орохидрографски характеристики към ХМС в средното и долното течение на р. Марица

ХМС Река и пункт	№ ХМС	Дълж. на реката от извора <i>L</i>	Среден наклон на реката <i>I</i>	Площ на водосборната област (ВО) <i>A</i>	Ср. надморска височина на ВО <i>H</i>	Среден наклон на ВО <i>J</i>	Гъстота на речната система
		km	‰	km ²	m	-	km/km ²
р. Марица, гр. Пловдив	72700/ 301	132,3	16,7	7926	915	0,178	0,86
р. Марица, гр. Първомай	72850/ 304	183,6	12,3	12728	808	0,166	0,82
р. Марица, гр. Харманли	73750/ 307	269,4	8,7	19693	603	0,131	0,75
р. Марица, гр. Свиленград	73850/ 309	303,4	7,7	20857	582	0,125	0,74
р. Чепеларска, гр. Бачково	72460/ 324	55,33	20,6	824,9	1241	0,349	1,36
р. Харманлийска, гр. Харманли	73550/ 308	88,1	4,9	952	276	0,096	0,56
р. Сазлийка, с. Гълъбово	73480/ 342	126,4		3040	253		
р. Банска река, с. Добрич	73370/ 344А			318	324		

3. Анализ на изходните данни

За извеждането на регионални зависимости за максималния отток в средното и долното течение на река Марица и притоците ѝ са използвани актуални данни от наблюденията и измерванията на годишния отток в споменатите 8 ХМС. Периодът на наблюдение е от откриването на съответната ХМС до 2006 г.

Направен е предварителен анализ на наличните нарушители на оттока и тяхното влияние върху отточния режим на реката в средното и долното ѝ течение, с цел избор на представителен период. Взети са предвид двата най-големи язовира в басейна на р. Марица до Пловдив – язовир „Тополница“ и язовир „Въча“, тъй като тяхното влияние върху отточния режим на реката има най-голяма тежест.

Окончателно, като представителен е приет период 1976–2006 година, който отразява най-добре режима на оттока в средното и долното течение на река Марица и притоците ѝ.

4. Предварителна обработка на изходните данни

Като изходни данни за получаване на регионални зависимости за максималния отток са използвани редиците от максимални годишни водни количества за период на наблюдение 1976–2006 г. в избраните 8 ХМС.

Данните за годишните максимуми в избраните ХМС са обработени чрез статистически анализ и са направени съответните проверки. В табл. 2 са представени получените статистически параметри на редиците.

Таблица 2. Статистическите параметри на годишния отток за избраните ХМС

ХМС		Статистически параметър			
Река	Пункт	$Q_{\max,av}$ (m^3/s)	σ (m^3/s)	Cv	Cs
р. Марица, гр. Пловдив	72700/301	254,2	221,9	0,873	2,619
р. Марица, гр. Първомай	72850/304	281,2	187,0	0,665	1,994
р. Марица, гр. Харманли	73750/307	533,3	305,3	0,572	1,717
р. Марица, гр. Свиленград	73850/309	545,6	302,6	0,555	1,664
р. Чепеларска, гр. Бачково	72460/324	117,5	75,6	0,643	1,929
р. Харманлийска, гр. Харманли	73550/308	114,6	104,0	0,907	2,722
р. Сазлийка, с. Гълъбово	73480/342	82,4	73,3	0,890	2,669
р. Банска река, с. Добрич	73370/344А	75,6	89,6	1,185	3,556

Изчислени са емпиричните обезпечености по Вейбул и са построени серия теоретични криви на обезпеченост при различни разпределения за всяка ХМС поотделно. От тях са избрани меродавните криви на обезпеченост, които се съгласуват най-добре с емпиричните данни – в случая най-подходящо се оказа трипараметричното гама-разпределение.

5. Валежи

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 ръководство 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.

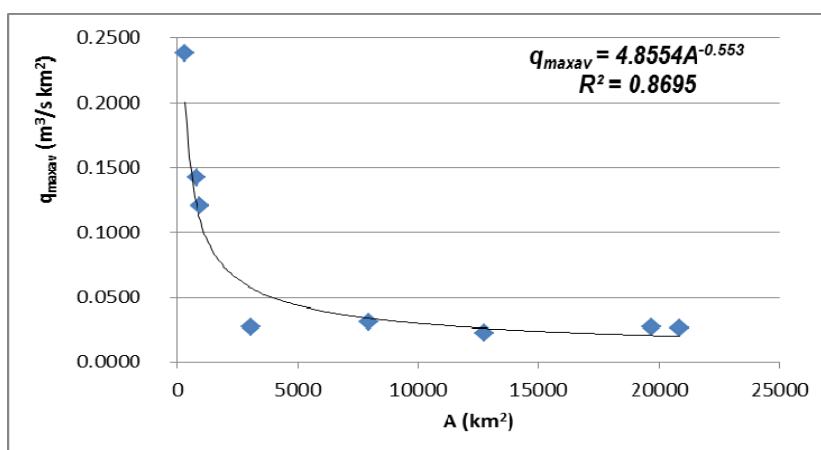
Максималните денонощни валежни височини с характерна обезпеченост са определени към всяка от избраните ХМС във водосбора на р. Марица до гр. Белово, като е използвано районирането на територията на нашата страна по денонощен максимум на дъжда и средните надморски височини на водосборите до створа на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

Получени са максимални денонощни валежни височини с характерна обезпеченост към избраните ХМС.

6. Еднофакторни регионални зависимости за максималния отток

Регионалният анализ е един от най-подходящите методи за получаване на търсени характеристики, когато липсват измервания в пункта, който е обект на изследване. Когато има достатъчно налична информация от други станции в разглеждания район, техните разпределения се използват, за да бъде получена една обобщена регионална крива на разпределение. Така изчислената регионална крива по-нататък може да се използва за определяне на максимални водни количества за всеки един пункт без измервания в разглеждания район.

Въз основа на получените хидроложки параметри на максималния отток е изведена регионална зависимост за модула на максималния отток, като са използвани всички 8 изходни ХМС – фиг. 1.



Фиг. 1. Регионална зависимост за модула на максималния отток в средното и долното течение на река Марица

Получената зависимост е с много добро качество и много висок коефициент на корелация. По нея могат да бъдат получени стойностите на модула на максималния отток, а оттам и средномногогодишната стойност на максималното водно количество за различни пунктове в съответния район.

7. Многофакторни регионални зависимости за максималния отток

За търсенето на многофакторни зависимости в разработката е използван методът на генетичното програмиране (ГП). ГП е относително нов метод, който генерира компютърни програми за решаване или приблизително решаване на различни проблеми. Алгоритмите на ГП са инспирирани от теорията за еволюцията и съвременното разбиране за биологията.

Основната отличителна черта на ГП е, че то прави своето търсене на решение за всеки определен проблем в пространство от математически зависимости като използва и манипулира дървовидни структури. Едно от успешните приложения на ГП в областта на автоматичното генериране на математически зависимости е при символната регресия.

Задачата при символната регресия е едновременно намиране на подходящия функционален израз и числените стойности на коефициентите в него. При този алгоритъм потребителят трябва да дефинира някои негови основни градивни блокове като например математическите операции и променливите, които да бъдат използвани. След това алгоритмът се опитва сам да открие модела използвайки единствено онези изграждащи елементи, специфицирани от потребителя. Единствената информация, с която се разполага при използването на символна регресия за решаването на даден проблем, е грешката, която всеки един модел прави, друга спомагателна информация не се използва.

В тази работа са използвани три числени оценки за грешката – средноквадратична грешка (RMS), коефициентът на детерминация (CoD) и средна вероятностна грешка E.

Исходните данни за експеримента с генетичното програмиране са орохидрографски характеристики към ХМС в средното и долното течение на р. Марица, дадени в табл. 1, и максимални денонощни валежни височини с характерни обезпечености към избраните ХМС.

За входните данни за водосбора на река Марица след Пловдив бяха проведени числени експерименти за намиране на зависимости за модула на максималния отток q_p от определени орохидрографски и метеорологични елементи за различни обезпечености ($p = 0,01, 0,1, 1, 5, 10, 20, 50\%$).

Планът на проведените числени експерименти е представен в табл. 3.

Таблица 3. План на числените експерименти

Експе- ри- мент №	Зависима променлива	Независими променливи	Математически оператори	Време експеримент в минути	Забележка
1	q_p [$m^3/s.km^2$]	p, A, H, h_p	+, -, *, /, sqrt	180	с данните за всичките 8 ХМС
2	q_p [$m^3/s.km^2$]	p, H, h_p	+, -, *, /, sqrt, exp(x)	180	
3	q_p [$m^3/s.km^2$]	p, A, H, h_p	+, -, *, /, sqrt	180	
4	q_p [$m^3/s.km^2$]	p, H, h_p	+, -, *, /, sqrt, exp(x)	180	
5	q_p [$m^3/s.km^2$]	p, A, H, h_p	+, -, *, /, sqrt	180	
6	q_p [$m^3/s.km^2$]	p, A, H, h_p	+, -, *, /, sqrt	180	
7	q_p [$m^3/s.km^2$]	p, A, H, h_p	+, -, *, /, sqrt, exp(x)	180	
8	q_p [$m^3/s.km^2$]	A, h_p	+, -, *, /, sqrt	180	
9	q_p [$m^3/s.km^2$]	A, h_p	+, -, *, /, sqrt, exp(x)	180	
10	q_p [$m^3/s.km^2$]	A, H, h_p	+, -, *, /, sqrt, exp(x)	180	без за р. Банска
11	q_p [$m^3/s.km^2$]	A, H, h_p , J, L, I	+, -, *, /, sqrt	180	с данните само за 4-те ХМС от главното течение на р. Марица
12	q_p [$m^3/s.km^2$]	A, H, h_p , J	+, -, *, /, sqrt	180	
13	q_p [$m^3/s.km^2$]	A, H, h_p , J, L, I	+, -, *, /, sqrt, exp(x)	180	
14	q_p [$m^3/s.km^2$]	A, H, h_p , J, L	+, -, *, /, sqrt	180	
15	q_p [$m^3/s.km^2$]	A, H, h_p	+, -, *, /, sqrt	180	
16	q_p [$m^3/s.km^2$]	p, A, H, h_p	+, -, *, /, sqrt	180	
17	q_p [$m^3/s.km^2$]	p, A, H, h_p , J, L, I	+, -, *, /, sqrt	180	
18	q_p [$m^3/s.km^2$]	p, A, H, h_p , J, L, I	+, -, *, /, sqrt	180	
19	q_p [$m^3/s.km^2$]	p, A, H, h_{av}	+, -, *, /, sqrt	180	
20	q_p [$m^3/s.km^2$]	A, H, h_p	+, -, *, /, sqrt	180	с данните за всичките 8 ХМС

От таблица 4 се вижда, че числените експерименти могат да се разделят на две групи. Първата група са експериментите с входни данни от всичките осем ХМС от разглеждания район. Втората група експерименти – с входни данни само от ХМС по основното течение на река Марица.

Най-добрите получени резултати от двете групи числени експерименти са представени по-долу. Всеки представен резултат е даден с оригиналната зависимост, така както е получена от GP Kernel, програмата, която осъществява ГП симулациите. Тази оригинална зависимост може да се използва директно в Ексел за изчисления. Освен оригиналната зависимост е дадена още и обработената зависимост и стойностите на трите числени оценки за грешката.

Най-добрият получен резултат от първата група числени експерименти е този, получен при тест 3. От високата стойност на средната вероятностна грешка ($E = 21.78\%$), обаче се вижда, че същият не може да бъде използван за практически изчисления. ГП не можа да намери подходяща за практически изчисления зависимост, която да е получена от данните във всички ХМС от разглеждания район.

Тест 3.

Оригинална зависимост:

$$q(p) = ((h_p + \sqrt{\sqrt{H}})) / (((A - h_p) * \sqrt{((p + \sqrt{H})) / \sqrt{(\sqrt{\sqrt{((A * (\sqrt{(\sqrt{H} + \sqrt{H})) * \sqrt{A})) * h_p)) * A}}))}) + \sqrt{(\sqrt{(A / A)} * A)}))$$

$$RMS = 0.0661 \text{ CoD} = 0.9904 \text{ E} = 21.78\%$$

Обработена зависимост

$$q(p) = \frac{A^{\frac{11}{32}} * h_p^{\frac{1}{16}} (h_p + H^{\frac{1}{4}}) * (H^{\frac{1}{2}} + H^{\frac{1}{2}})^{\frac{1}{32}}}{A^{\frac{27}{32}} * h_p^{\frac{1}{16}} * (H^{\frac{1}{2}} + H^{\frac{1}{2}})^{\frac{1}{32}} + (A - h_p) * (p + H^{\frac{1}{2}})^{1/2}}$$

От втората група числени експерименти са представени най-добрите резултати от три от тях – експерименти 11, 15 и 18.

В тест 11 участват всички налични данни A , H , h_p , J , L , I за станциите по главната река на разглеждания район. Представената най-добра зависимост може да бъде използвана за инженерни изчисления, което е видно от стойността на средната вероятностна грешка – 10.21%.

Тест 11.

Оригинална зависимост:

$$q(p) = ((\sqrt{(\sqrt{h_p} / (I / \sqrt{\sqrt{I}}))}) / ((A / h_p) / \sqrt{0.6017})) * (((L + \sqrt{((L + J) / I)}) / \sqrt{H}) / H) + (h_p / A)) * (I / \sqrt{J}))$$

$$RMS = 0.0161 \text{ CoD} = 0.9933 \text{ E} = 10.21\%$$

Обработена зависимост

$$q(p) = \frac{0.881 * h_p^{3/4}}{A^{1/2} I^{3/8}} * \frac{[A * L * I^{\frac{1}{2}} + A * (L + J)^{\frac{1}{2}} + h_p * I^{\frac{1}{2}} * H^{\frac{3}{2}}]}{A * I^{\frac{1}{2}} * H^{\frac{3}{2}}} * \frac{I}{J^{\frac{1}{2}}}$$

За тест 15 бяха използвани данните само за три параметъра A , H , h_p , за станциите по главната река като получения най-добър резултат е с грешка 8.73%. Тази получена зависимост може да бъде използвана за инженерни изчисления. Същото може да се каже и за най-добрата зависимост от тест 18, която има вероятностна грешка 8.34%

Тест 15

Оригинална зависимост:

$$q(p) = ((\sqrt{\sqrt{H}}) * \sqrt{(\sqrt{\sqrt{\sqrt{A}}}) / H})) * (((A + h_p) / (h_p + H)) + (H / (A / h_p))) / (A / h_p))$$

$$RMS = 0.0072 \text{ CoD} = 0.9912 \text{ E} = 8.73\%$$

Обработена зависимост

$$q(p) = \frac{h_p * [A * (A | h_p) | H * h_p (h_p | H)]}{A^{3/4} * H^{1/4} * (h_p + H)}$$

Тест 18А

Оригинална зависимост:

$$q(p) = (((h_p - \text{sqrt}(H)) * (\text{sqrt}(H) - L) - h_p) / ((\text{sqrt}(H) * (H - (A * J))) * \text{sqrt}(((h_p / A) + (h_p - \text{sqrt}(\text{sqrt}(A))))))))$$

RMS = 0.0085 CoD=0.9886 E=8.34%

Обработена зависимост

$$q(p) = \frac{(h_p - H^{1/2}) * (H^{1/2} - L - h_p)}{H^{1/2} * (H - A * J) * \left(\frac{h_p}{A} + h_p - A^{1/4}\right)^{1/2}}$$

5. Заключение

Получената еднофакторна зависимост е с много добро качество и много висок коефициент на корелация.

От представените резултати за многофакторни зависимости се вижда, че ГП не е в състояние при проведените числени експерименти с всичките 8 ХМС да намери зависимост, която да може да се използва за практически изчисления, поради високата средна вероятностна грешка.

Получените многофакторни зависимости за главното течение на р. Марица са надеждни и могат да бъдат използвани за практически изчисления.

REGIONAL RELATIONSHIPS FOR MAXIMUM FLOW IN MIDDLE AND LOWER RECHS OF RIVER MARITSA

M. Pechinova¹, V. Bojkov²

Keywords: hydrology, maximum flow, regional relationship, genetic programming

Research area: engineering hydrology, hydraulics and water economy

ABSTRACT

The methods of determining the design characteristics of the maximum flow are different, depending on the nature of the area and the available data. A regional analysis is one of the most suitable methods for the computation of the necessary characteristics in case of absence of measurements in a point, which is the subject of the study.

There are various methods for obtaining regional relationships. For this purpose, in the present work, both the classical statistical methods and one of the data mining methods, namely the genetic programming, are used.

The object of this work is the middle and lower course of the river Maritsa and its tributaries.

¹ Martina Pechinova, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dpt. "Hydraulics and Hydrology", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: martinapechinova@abv.bg

² Vencei Bojkov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dpt. "Hydraulics and Hydrology", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: bojkov_fhe@uacg.acad.bg

