

инж. Филип Пенчев – докторант към катедра „Хидравлика и хидрология“
към УАСГ- България, София, 1046, бул. “Христо Смирненски” 1,
+359 889 297667, e-mail: f.penchev@dhigroup.com

ОЦЕНКА НА МАКСИМАЛНИЯ ОТТОК НА Р. ДУНАВ ПРИ
ГР. СВИЩОВ ЧРЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕ НА EXTREME VALUE ANALYSIS (EVA)

ASSESSMENT OF THE MAXIMUM FLOW IN DANUBE RIVER NEAR
SVISHTOV USING EXTREME VALUE ANALYSIS (EVA)

Philip Penchev
University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy,
Sofia, 1046, “Hristo Smirnenski” 1,
+359 889 297667, e-mail: f.penchev@dhigroup.com

Summary: Hydrometric monitoring of water level and discharge in cases of very high water level or during flood events is very hard and in most cases reliable data can not be obtained easily. That is why hydrological analysis is needed to make an assessment of the peak river flow and to verify the relation between the discharge and the water level (rating curve) in a river.

In this paper the maximum discharge at the hydrometric station near Svishtov, Bulgaria in the Lower Danube River has been analyzed by using the software package Extreme Values Analysis (EVA) by DHL. Hydrological data for the water levels and discharges in the period between 1965 – 2013 has been analyzed. Three different combinations of probability distribution functions and statistical parameter estimation methods have been elaborated in this research. All data has been tested for independence and homogeneity using Run test and Mann-Kendel test. Three distribution curves have been elaborated and compared to previous works and publications on the maximum discharge in the Lower Danube. The distribution curve derived from the Gumbel distribution and statistical parameters estimated by the method of moments has been chosen as reliable.

Keyword: river flow, hydrological analysis, Danube, probability distribution.

1. Въведение

Изследването на оттока на река Дунав в долно течение е от изключителна важност по отношение на осигуряването на безпроблемно корабоплаване от една страна и от друга за оценка и анализ на потенциален риск от наводнения в прилежащите територии. Задачата на настоящото изследване е да се направи детайлен анализ на максималния отток на реката в участъка между Никопол и Свищов за периода 1965 – 2013 г. За обработка на данните е избран специализиран софтуер за обработка на екстремални числови редици – Extreme Value Analysis, разработен от датския

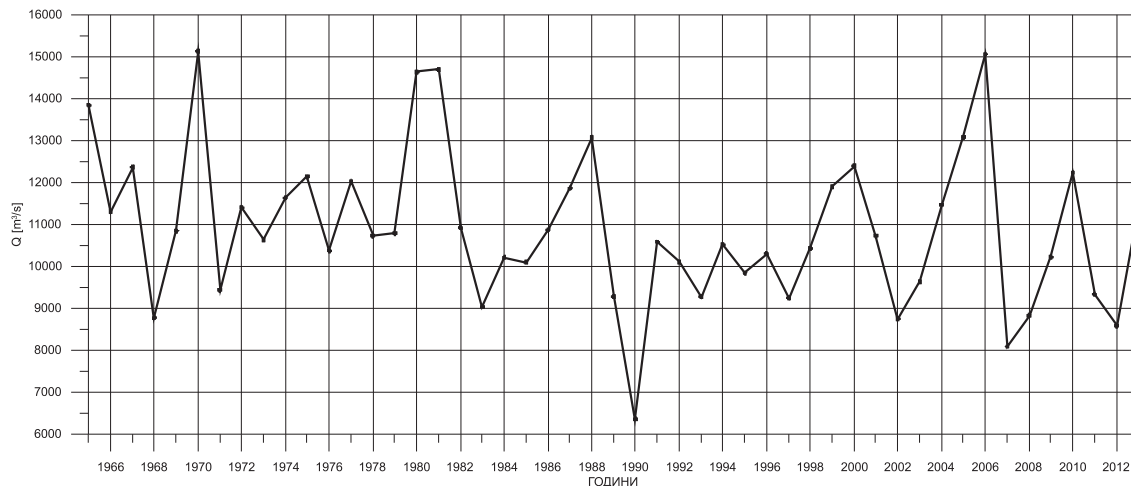
хидравличен институт (ДХИ). Избрани са три различни варианта за получаване на теоретични криви на обезпеченост. Вариантите са анализирани аналитично и графично, като е направено и сравнение на получените резултати с други публикации относно максималните водни количества, преминаващи в българския участък на р. Дунав.

Резултатите от направения анализ ще бъдат използвани за гранични условия при разработването на двуменсионален хидродинамичен симулационен модел за участък от река Дунав при фериботен комплекс „Никопол“.

2. Хидроложки данни

Използвани са данни за максималните водни количества, протичащи през створ Свищов за периода 1965 г. – 2013 г. Данните до 1970 г. са взети от Хидрологичен справочник на р. Дунав – Български участък. Допълнените данни до 2013 г. са предоставени от

Агенция за проучване и поддържане на р. Дунав, гр. Русе (АППД – Русе). Така е получена една редица от 49 члена съответно за годишните максимални стойности на оттока на река Дунав. На **Фиг. 1** е представен ходографът на водните количества за разглеждания период от 49 години.



Фиг. 1. Ходограф на максималните водни количества при Свищов

Впечатление правят няколко силно изразени екстремни стойности при максималните водни количества - 1970, 1981, 1982 и 2006, със стойности на наблюдавания отток над 14 000 m³/s. През 1990 година се наблюдава и най-ниската стойност на максималния отток – 6350 m³/s. Тази стойност е с 20 % пониска от следващата стойност във вариационния ред, което дава предпоставки за изкривяване на теоретичните криви в долната част от графиките. В настоящата работа не са правени допълнителни изчисления, с изключване на тази минимална стойност от вариационния ред.

3. Софтуер за анализ на екстремални стойности / Extreme Value Analysis (EVA)

Софтуерът Extreme Value Analysis съдържа набор от инструменти за извършване на анализ на екстремални стойности. Тези инструменти са:

- Предварителна обработка за определяне на екстремалните стойности в n-брой редици, съставени от m-брой члена;
- поддръжка на два различни модела

за анализ на екстремални стойности – редица от максимуми (екстремуми) и/или ограничена редица от максимуми (екстремуми);

- поддръжка на голям брой разпределения, в това число експоненциална, обобщена Pareto, Gumbel, обобщена екстремална стойност, Weibull, Frechet, Гама разпределение, Pearson Type 3, Log-Pearson Type 3, логаритмично-нормално, Square-root exponential distribute;
- три различни метода за оценка – метод на моментите, метод на максималното правдоподобие и метод на L-моментите;
- три различни проверки за верификация и проверка за случайност и еднородност на данните в редицата – Run test, Mann-Kendell и Mann-Whitney;
- изчисление на пет различни проверки за използвания закон за разпределение – χ^2 (хи квадрат) на Пирсън, Колмогоров-Смирнов, критерий на на-малките квадрати, Probability plot correlation coefficient, Log-likelihood measure;
- поддръжка на два метода за опреде-

- ляне на неопределеността на данните – Монте Карло и Jackknife;
- възможности за графично визуализиране на резултатите.

4. Анализ на наличните данни

В настоящата работа са разгледани няколко различни комбинации от вероятностни разпределения и методи за определяне на статистическите параметри на вариационните редове. Изборът на вероятно разпределение и метод за определяне на статистическите параметри е съобразен с най-често използваните теоретични закони за разпределение на случайни величини при определяне на екстремални стойности. Долу в таблицата са представени различните комбинации, използвани за анализ на данните за водните количества при Свищов.

ри на вариационните редове. Изборът на вероятно разпределение и метод за определяне на статистическите параметри е съобразен с най-често използваните теоретични закони за разпределение на случайни величини при определяне на екстремални стойности. Долу в таблицата са представени различните комбинации, използвани за анализ на данните за водните количества при Свищов.

Таблица 1. Варианти за анализ на максималното водно количество

Вариант	Вероятностно разпределение	Метод за опр. на стат. параметри	Неопределеност
1	Gumbel	Метод на моментите	Монте Карло
2	Лог-нормално	Метод на максималното правдоподобие	Монте Карло
3	Gumbel	Метод на максималното правдоподобие	Монте Карло

4.1. Максимални водни количества

Анализът на данните за максималните водни количества при Свищов включва използването на проверка за еднородност и случайност, проверка за използвания закон за разпределение на вероятностите, проверка за неопределеност на данните в редицата (Монте Карло). В допълнение са изчертани теоретичните криви на разпределение за всеки от разглежданите варианти. За оценка на емпиричната обезпеченост е приета формулата на Hazen:

$$P_i = \frac{m - 0.5}{N}$$

• Проверка за случайност и еднородност на данните

Софтуерът EVA съдържа три различни проверки за случайност и еднородност на данните в редицата. Тук са извършени две проверки – Run test и Mann-Kendall test. И двете проверки се основават на H_0 (нулевата хипотеза) при определен доверителен интервал (най-често 5 %).

Таблица 2. Проверка за еднородност и случайност на данните в редицата

Проверка	Статистика	Степен на значимост
Run test	-2.02	4.33%
Mann-Kendall	-1.91	5.62%

• Проверка на използваните закони за разпределение

За проверка дали са подбрани подходящи закони за разпределение на статистическите параметри на хидроложките редове се прилагат няколко

различни метода. В този анализ са избрани три проверки – X^2 (хи квадрат), Колмогоров-Смирнов и SLSC (критерий на най-малките квадрати). За първите два метода се изчисляват и нивата на значимост (в %).

Таблица 3. Проверка на използвания закон за разпределение по три метода

Разпределение / метод	Статистика	Стойност	Ниво на значимост [%]
Gumbel / MM	χ^2	3.714	
	Колмогоров - Смирнов	0.088	25
	SLSC	0.04	
Лог-нор. / MM	χ^2	9.224	16.134
	Колмогоров - Смирнов	0.076	25
	SLSC	0.041	
Gumbel / MMП	χ^2	9.224	16.134
	Колмогоров - Смирнов	0.098	25
	SLSC	0.036	

- Статистически параметри на редицата за периода 1965 – 2013 г.

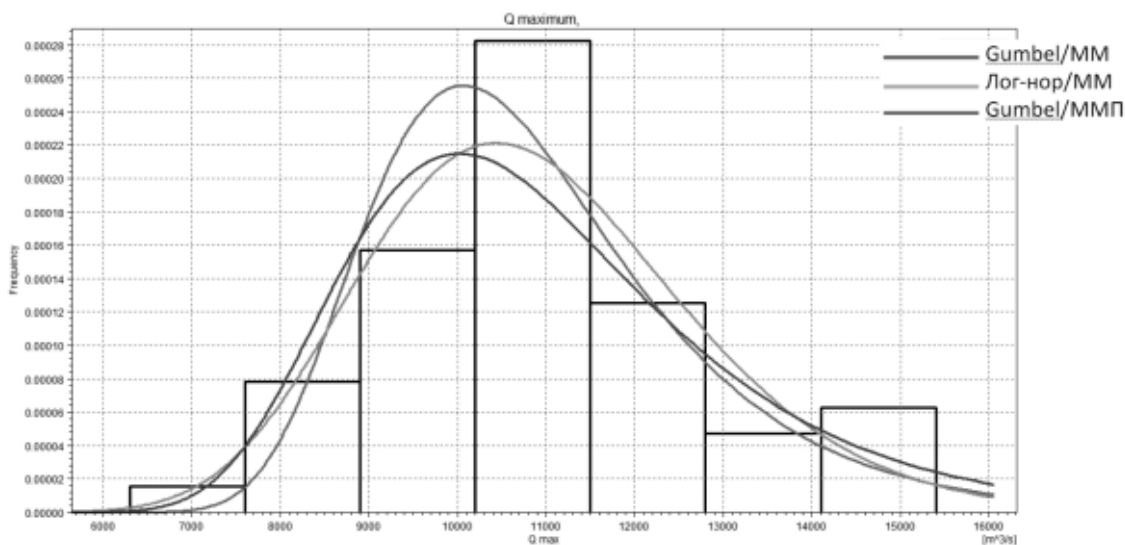
Таблица 4. Статистически параметри по метода на моментите

Параметър	Стойност
Средноаритметична стойност \bar{Q}_{\max} (m ³ /s)	10899
Средноквадратично отклонение σ (m ³ /s)	1846
Коефициент на вариация C_v	0.169
Коефициент на асиметрия C_s	1.14

Таблица 5. Статистически параметри по метода на максималното правдоподобие и Gumbel

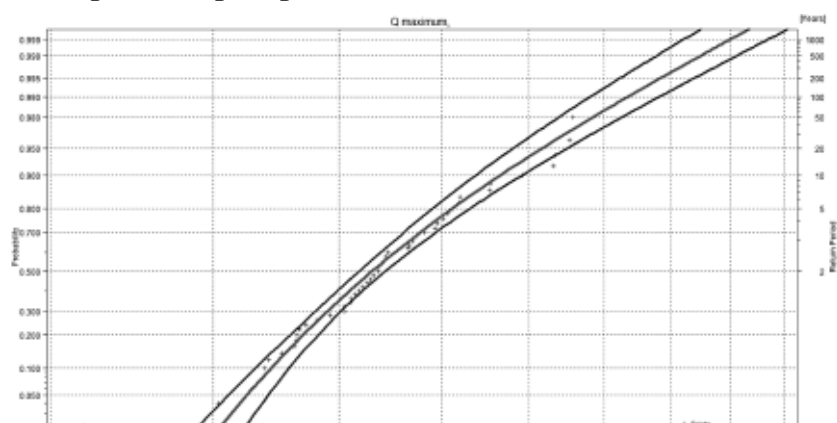
Параметър	Стойност
Средноаритметична стойност \bar{Q}_{\max} (log)	10899
Средноквадратично отклонение σ (log)	1849
Коефициент на вариация C_v	0.169
Коефициент на асиметрия C_s	0.513

- Криви на разпределение (хистограми)

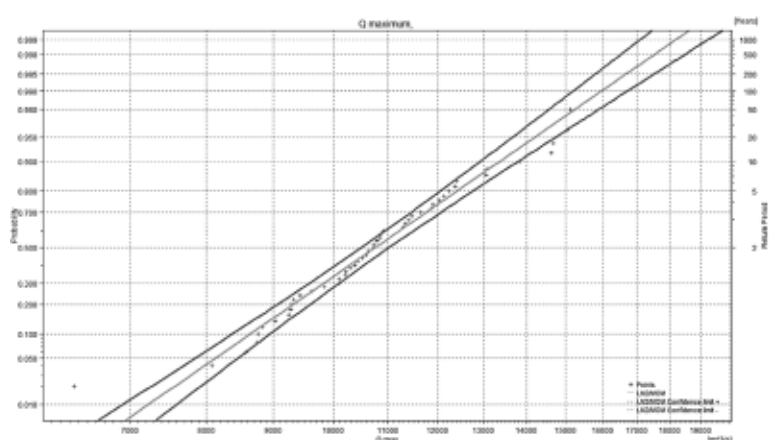


Фиг. 2. Криви на разпределение на максималния отток (хистограма)

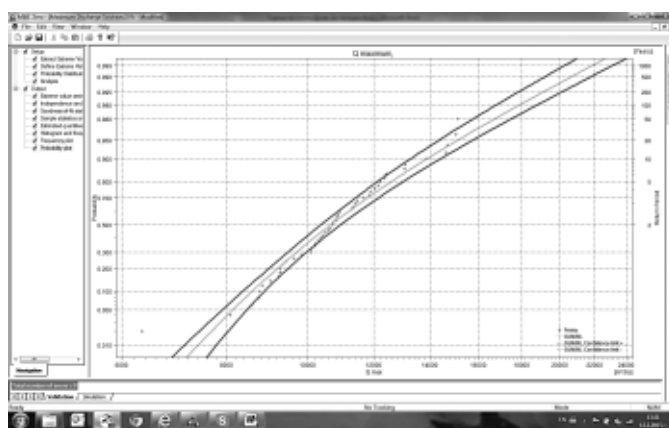
• Теоретични криви на разпределение



Фиг. 3. Теоретична крива на разпределение (Gumbel, MM)



Фиг. 4. Теоретична крива на разпределение (лог-нор., MM)



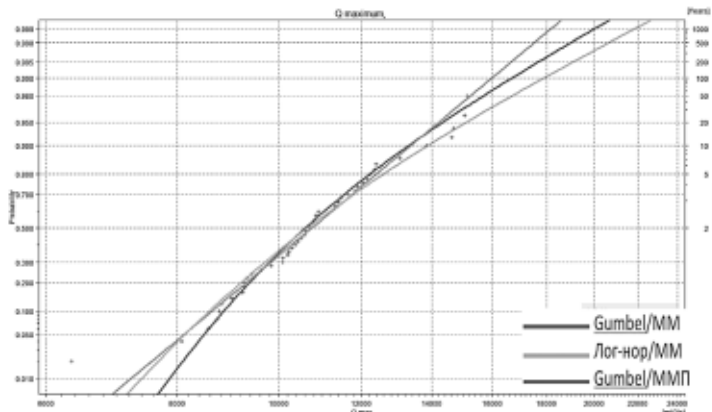
Фиг. 5. Теоретична крива на разпределение (Gumbel, MMP)

5. Анализ на резултатите

5.1. Максимално водно количество

На Фиг. 6 са представени трите получени теоретични криви на разпределение, изчертани в обща графика. Кривите покриват добре точките от емпиричното разпределение. Впечатление прави сравнително голямото

раздалечаване на кривите в горната част на графиката (при ниските обезпечености), където се наблюдават отклонения над 10 % между изследваните теоретични криви. По-долу в Табл. 6. са дадени резултатите, получени за водните количества за определени периоди на повторение.



Фиг. 6. Теоретични криви на разпределение (Gumbel/MM; лог-нор./MM; Gumbel/MMП)

Таблица 6. Максимални водни количества в m^3/s

Разпределение/метод	Период на повторение			
	1/10	1/50	1/100	1/1000
Gumbel/ MM ($Q_{m^3/s}$)	13 300	15 680	16 690	20 000
Лог-нор./MM ($Q_{m^3/s}$)	13 380	15 250	15 950	18 200
Gumbel/ MMП ($Q_{m^3/s}$)	13 850	16 720	17 900	21 800

От интерес за настоящата публикация са получените резултати за водното количество с обезпеченост $P_{1\%}$ (1/100 години). Получената стойност при логаритмично-нормално разпределение и статистически параметри определени по метода на моментите е $15950 m^3/s$. Стойността, получена при разпределение по Gumbel и използване на метода на максималното правдоподобие дава стойност от $17900 m^3/s$. Това прави приблизително 11 % разлика при оценката на максималното водно количество с обезпеченост $P_{1\%}$.

Заклучение

За меродавна може да бъде определена кривата, получена при вероятно разпределение по Gumbel и статистически параметри, определени по метода на моментите. Тази крива изравнява най-добре точките от емпиричното разпределение. Получената стойност за $Q_{1\%}$ по Gumbel и метод на моментите е $16\ 690 m^3/s$. При анализа на максималното водно количество с обезпеченост $P = 0.1\%$ (1/1000 години) е получена стойност от $20\ 000 m^3/s$. Разгледан е хидроложки анализ към отчет за „Инженерно-хидроложки изследвания за маскимальния отток на р. Дунав в участъка на АЕЦ „Козлодуй“ и АЕЦ „Белене“ (Ст. Модев

1991 г.), в който е получена стойност за $Q_{0.1\%} = 20\ 676 m^3/s$. Получената стойност е близка до получените в настоящата работа.

Литература

1. Авторски колектив, Хидрологичен справочник на р. Дунав, „Техника“, 1977
2. Печинова М., Божков В., Сравнение на минималния отток на река Дунав при Силистра преди и след Влизането в експлоатация на Хидротехническият комплекс „Железни врата“, „Водно дело“, 2009
3. Модев Ст., Даскалов Кр., Кирилова С., „Хидроложки и хидравлични изследвания за стабилитета на дъното на р. Дунав в зоната на фериботен комплекс “Никопол”, 2007
4. Маринов И., Георгиев С., Мандаджиев Д., Печинов Д., Хидрологичен наръчник част I, „Техника“, 1979
5. Маринов И., Георгиев С., Мандаджиев Д., Печинов Д., Хидрологичен наръчник част II, „Техника“, 1980
6. Маринов И., Инженерна хидрология, „Техника“, 1984
7. Модев Ст., Инженерна хидрология и океанология, лекции, 2009
8. Белц У., Года Л., Режим стока Дуная и его басейна, Региональное сотрудничество придунайских стран в рамках международной гидрологической программы ЮНЕСКО, 2004
9. Wachter K., The Analysis of the Danube Floods 2006, International Cooperation for the protection of Danube River, 2007
10. “Extreme Value Analysis”, Technical Reference and Documentation, MIKE by DHI, 2014