

М.М.Сусідко, А.В.Щербак

**СИСТЕМА БЕЗПЕРЕРВНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ
ДЕСЯТИДЕННИХ ВИТРАТ І РІВНІВ ВОДИ
НА РІЧКОВИХ ДІЛЯНКАХ ДУНАЮ
ІЗ ЗАВЧАСНІСТЮ 10-30 ДІБ**

Опрацьована підсистема прогнозування 10-денних витрат і рівнів води, призначена для оцінювання середніх, максимальних і мінімальних значень у 9 створах Дунаю від Гофкірхена до Ізмаїла із завчасністю на 10, 20 і 30 діб. Схематизація підсистеми дозволяє здійснювати поступове уточнення прогнозів із перекриттям у часі. Методика прогнозування ґрунтується на використанні даних про приплив води до визначених створів на вищерозташованих річкових ділянках.

Суть питання

Існують методичні розробки щодо прогнозування рівнів води на Дунаї. Відповідні дослідження опубліковані у збірниках конференцій Дунайських країн [2, 3]. Досить детально це питання розглядається у статті [1]. Крім того, на цей час у країнах, через які протікає р.Дунай, використовуються методики короткотермінового прогнозування рівнів води у межах своїх територій. Отже, існуючі прогностичні методики розроблялися для окремих річкових ділянок Дунаю, а тому технологічні можливості їх обмежені.

Для забезпечення необхідною інформацією Дунайського судноплавства України розроблена прогностично-інформаційна система “Дунай-2”, яка дозволяє здійснювати безперервне прогнозування середніх, максимальних та мінімальних витрат і рівнів води на три 10-денки з перекриттям у часі одночасно на 9 річкових ділянках від Гофкірхена до Ізмаїла (табл.1, рис.1).

Таблица 1

Номер поста	Річка - пост	Відстань від гирла, км
1	Дунай - Регенсбург	2376
2	- Гофкірхен	2257
3	- Відень	1934
4	- Надьмарош	1695
5	- Будапешт	1650
6	- Мохач	1447
7	- Ново-Село	834
8	- Русе	496
9	- Чернавода	300
10	- Ізмаїл	94
11	Інн - Шердінг	16,3
12	Драва - Барч	153
13	Тиса - Сегед	173
14	Сава - Сремська Митровиця	136

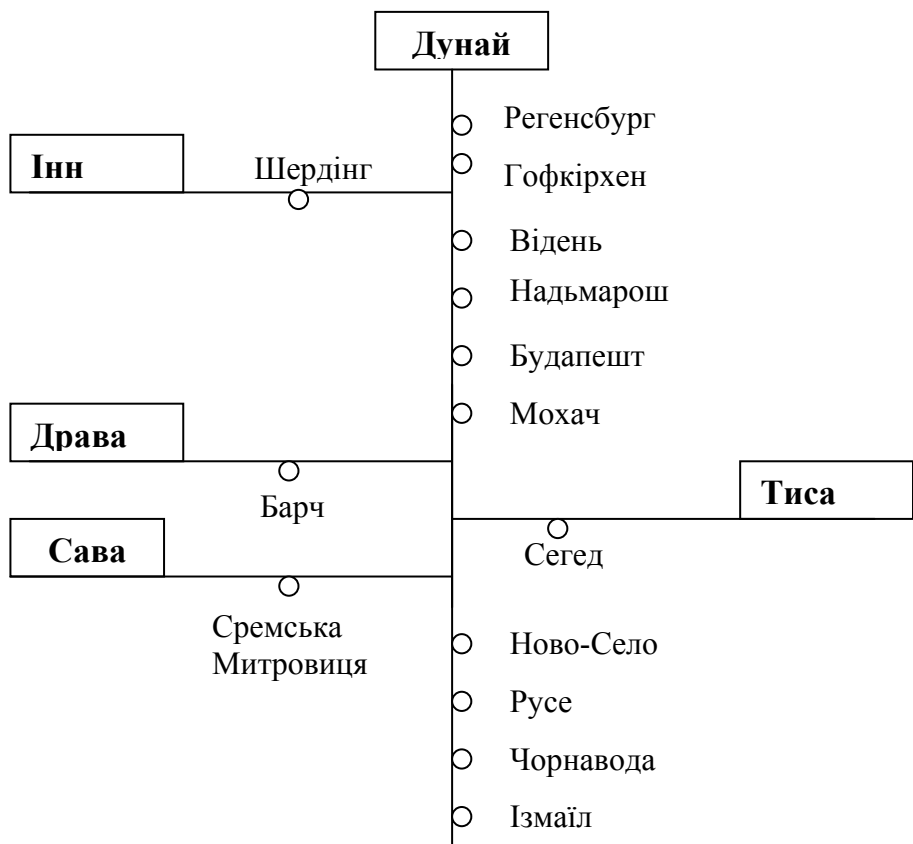


Рис. 1. Загальна схема прогностично-інформаційної системи Дунай-2”

До складу прогностично-інформаційної системи входять дві підсистеми: прогнозування витрат/рівнів води та формування інформаційного бюлетня.

Методичні засади прогнозування

Дунай отримує живлення переважно з гірських водозборів, які становлять більшу частину території басейну. Разом з тим, річкова мережа Дунаю має значну ємність, де переміщуються великі об'єми води.

Складовими формування стоку в басейні Дунаю, як і в будь-якому річковому створі, є:

- витрати, що залежать від інтенсивності виснаження руслових запасів води, які накопичилися на час складання прогнозу;
- приплив води внаслідок випадання опадів чи сніготанення перед складанням прогнозу та у період його завчасності.

Проте, врахування опадів чи надходження талої води у такому великому басейні виявилось недоцільним із завчасністю на 10-30 діб, оскільки ці компоненти уже визначаються запасами води у річковій мережі, а використати довготермінові прогнози погоди неможливо через їх низьку справджуваність і територіальну невизначеність. Тому методика, закладена в прогностичній системі, зорієнтована на використання відомостей про перебіг стоку на Дунаї та його основних притоках (Інн, Драва, Тиса, Сава).

До деякої міри просторова та часова змінність припливу води до річкової мережі враховується через побудову прогностичних залежностей для сезонів року (весна, літо, осінь-зима).

Відповідно до методичних засад, опрацьована структура прогностичної підсистеми “Дунай-2”, яка визначає черговість прогнозування 10-денних витрат/рівнів води із завчасністю на 10, 20 і 30 діб та відповідне використання даних вищерозташованих створів.

У системі відсутня прив'язка до календарних декад і місяців, а тому розглядаються 10-денки, незалежно від початкового дня. Така схематизація дозволяє здійснювати, за потребою, поступове уточнення прогнозів із перекриттям у часі, не зменшуючи їхньої завчасності.

Прогнозування стоку в кожному із 9 створів Дунаю ґрунтується на врахуванні припливу води до цього створу із вищерозташованих річкових ділянок. Запаси води на цих ділянках визначаються через витрати у декількох верхніх створах (у тому числі й на притоках Дунаю). Кількість

цих створів залежить від завчасності прогнозування та тривалості добігання води до прогнозного створу (табл.2).

Таблиця 2

Черговість прогнозування 10-денних витрат/рівнів води
та задіяння даних вхідних створів

Прогнозний створ, відстань від гирла, км	Завчасність, діб	Вхідні створи (за табл. 1)													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2. Гофкірхен 2257	10	x	x												
	20	x	x												
	30	-	-												
3. Відень 1934	10	x	x	x								x			
	20	x		x								x			
	30	-	-	-											
4. Надьмарош 1695	10	x		x	x										
	20	x			x							x			
	30	x			x										
5. Будапешт 1650	10	x		x	x	x						x			
	20	x	x		x	x						x			
	30	x		x	x	x						x			
6. Мохач 1447	10		x		x	x						x			
	20		x	x		x									
	30	x	x	x	x	x									
7.Ново- Село 834	10					x	x						x	x	x
	20	x					x	x					x	x	x
	30	x		x				x							x
8. Русе 496	10						x		x				x	x	x
	20						x		x				x	x	x
	30			x	x			x	x					x	x
9. Чернавода 300	10					x				x			x	x	x
	20				x			x	x	x			x	x	x
	30				x	x		x	x	x					x
10. Ізмаїл 94	10								x	x	x		x	x	x
	20					x		x	x	x	x			x	x
	30						x	x	x	x	x			x	x

Примітка. Задіяні створи відзначені знаком x

Таким чином, вплив запасів води з певних річкових ділянок на витрати в прогнозованому створі буде змінюватися в залежності від їх розташування відносно прогнозного створу, а поставлене завдання

вирішуватиметься щодо середніх 10-денних витрат через комплекс наступних залежностей:

$$Q(t_1, t_2) = \sum_{i=1}^n A_i Q_i(t-5, t) \quad (1)$$

$$t_1 = 1, 11, 21,$$

$$t_2 = 10, 20, 30,$$

де Q - середнє значення 10-денних витрат води в прогнозному створі;

A_i - параметри залежностей, які визначають питому вагу витрат води i -того створу у витраті через прогнозний створ;

Q_i - середнє значення 5-денних витрати води в i -тих створах за період від $t-5$ до t ;

n - кількість i -тих створів.

До i -тих створів може входити і прогнозний, оскільки витрата води через нього визначає запас води на річковій ділянці від цього створу до найближчого верхнього. Параметри рівнянь (1) визначені, застосовуючи багатоваріантну множинну кореляцію із перебором змінних.

Максимальні та мінімальні за 10-денку витрати води, а через них і рівні визначаються для всіх 9 прогнозних створів у ймовірнісному вигляді (за ймовірності 80-90%) – залежно від спрогнозованої середньої 10-денної витрати $Q(t_1, t_2)$ тобто,

$$Q_{\max} = B_1 Q(t_1, t_2) + B_2, \quad (2)$$

$$Q_{\min} = C_1 Q(t_1, t_2) + C_2,$$

де B_1, B_2, C_1, C_2 - параметри.

Рівняння (2) отримані шляхом оцінювання параметрів лінійної регресії за характерні щодо водності роки. Коефіцієнти кореляції за всі сезони року коливаються в межах 0,92-0,96.

Формування бази даних

Вхідні дані (рівні води) системи “Дунай-2” виділено в окремий комплексний файл, який уособлює структуру бази даних.

Рівні води організовані у базі даних за схемою так, щоб ними було зручно користуватися як в оперативному режимі (при поточному

прогнозуванні), так і для випробування чи перевірки дієвості системи за минулі періоди.

База складається з окремих масивів, до кожного з яких заносяться щоденні значення рівнів води певних постів. Значення рівнів розташовані помісячно. Кожен місяць займає три рядки, які відповідають трьом декадам. На початковому етапі формування бази даних до неї заносяться умовні значення “-999” (мінус 999).

Передбачено, що масив даних кожного поста розпізнається за номером останнього, а позиція потрібного дня обчислюється програмно за відповідною датою.

Формування бази даних для поточного року починається з 1 січня, а закінчується 31 січня наступного. Такий обсяг даних і перехід із року в рік забезпечить довільне використання бази даних як протягом поточного року, так і тоді, коли виникає необхідність прогнозувати витрати/рівні води на початку наступного року.

Технологією формування бази даних передбачено занесення даних у двох варіантах: у вигляді щоденних відомостей або ж за періоди (декілька днів).

Програмний комплекс системи

Для забезпечення функціонування прогностичної підсистеми та підсистеми складання інформаційного бюлетня опрацьовано програмний комплекс DONAU_2. Файлова структура його подана на рис.2.

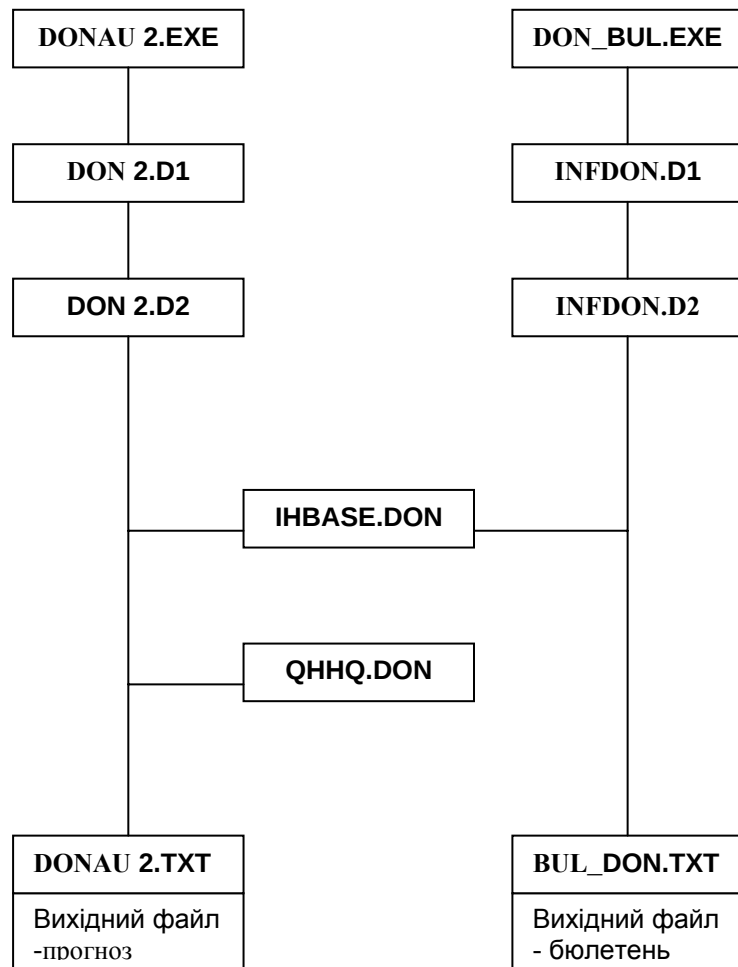
Комплекс виконує наступні процедури:

- а) формування бази даних про рівні води з 14 гідрологічних постів басейну Дунаю;
- б) прогнозування витрат/рівнів води у 9 створах р.Дунаю із завчасністю на 10-30 діб;
- в) складання інформаційного бюлетня.

Програмна оболонка комплексу (меню) включає відповідні підменю з пунктами, при задіянні яких виконуються автоматично потрібні процедури.

При відпрацюванні алгоритму програмного забезпечення прогностичної підсистеми “Дунай-2” взято за основу наступні положення:

- загальна схема прогностичної системи (див. рис.1);
- структурна схема, яка визначає черговість прогнозування 10-денних витрат/рівнів води із завчасністю на 10, 20 і 30 діб (див. табл.2);



Пояснення.

- | | |
|-----------------------------|---|
| DONAU 2.EXE | – робочий модуль прогностичної програми, |
| DON2.D1, DON2.D2 | – файли вхідного потоку прогностичної програми, |
| INBASE.DON | – файл бази даних, |
| QHHQ.DON | – файл координат залежностей між витратами та рівнями води, |
| DON_BUL.EXE | – робочий модуль програми формування бюлетня |
| INFDon.D1, INFDon.D2 | – файли вхідного потоку програми формування бюлетня. |

Рис. 2. Файлова структура прогностично-інформаційної системи “Дунай-2”

- обсяг гідрологічних даних, які використовуються при прогнозуванні;
- відсутність прив'язки до календарних декад і місяців, що дозволяє здійснювати уточнення прогнозів із перекриттям у часі, якщо виникає така необхідність через зміну гідрологічної обстановки у басейні Дунаю;
- автоматизація взаємодії робочих файлів при виконанні завдання - для звільнення користувача від необхідності втручатися у цей процес.

Вхідний потік програмного забезпечення прогностичної підсистеми організовано у складі 4-х робочих файлів, а саме: три файли, які включають відомості про гідрологічні пости, параметри прогностичних рівнянь для сезонів року і часових проміжків, координати залежностей між витратами та рівнями води, база даних про рівні води – вони постійні, змінність їх визначається авторами (за потребою). І лише дані одного файла DON2.d2 завжди змінюються, оскільки вони вказують дату прогнозування.

Безперервне прогнозування стоку полягає в тому, що прогноз у будь-який термін подається на 10, 20 і 30 діб у вигляді трьох складових – середніх 10-денних, максимальних і мінімальних значень витрат/рівнів води. Тобто, у термін t обчислюються значення стоку на першу, другу та третю 10-денки:

$$(t+1, t+10), (t+11, t+20), (t+21, t+30).$$

При цьому для двох верхніх створів Дунаю є можливість прогнозування лише із завчасністю на 10 діб, а завчасність на 30 діб забезпечується для 4-х нижніх створів. У додатку до статті наведено приклад результатів прогнозування, з якого видно можливості описаної вище системи стосовно завчасності передбачення витрат/рівнів води.

Для складання інформаційного бюлетня використовуються відомості про рівні води із загальної бази даних. У бюлетні подаються наступні відомості для кожного поста: рівні води за останні 5 днів, їх зміни за кожен добу, максимальні та мінімальні рівні води за багаторічний період.

Функціонування підсистеми інформаційного бюлетня не пов'язано із підсистемою прогнозування, а лише із базою даних. Тому ці структури можуть діяти, а тому й використовуватися, незалежно одна від іншої.

Структура і програмне забезпечення прогностично-інформаційної системи “Дунай-2” опрацьовані таким чином, щоб була можливість, при потребі, задіяти до вирішення завдання додаткові гідрологічні пости (створи) на Дунаї без зміни викладеного вище технологічного середовища.

* *

Прогнозно-информационная система «Дунай-2» позволяет оценивать средние 10-дневные, максимальные и минимальные уровни и расходы воды на Дунае в 9 створах от Хофкирхена до Измаила с заблаговременностью от 10 до 30 дней. Имеется возможность осуществлять непрерывное уточнение прогнозов с перекрытием во времени. Программный комплекс системы включает также составление информационного бюлетеня.

* *

1. Мухин В.М. Прогнозы характерных уровней и расходов воды р.Дуная с заблаговременностью 10-20 суток // Тр. Гидрометцентра СССР. – 1982. - Вып.240. -С.3-21.
2. Corbus C., Serban P. The analysis of the hydrologic forecast using the DANUBIUS model // XVIII th Conference of the Danube Countries. Vol. 19/1. – Graz, Austria. –1996, pp.113-119.
3. Petkovic T., Havric M. Kurzfristige Wasservorhersage auf Grund des Wasservorrates im Flussgebiet // Sammelband der XII Konferenz der Donauländer. – Bratislava, Slowakei. – 1984, 2-30, 8 s.

ПРАЦЮЄ ПРОГРАМА DONAU-2
ПРОГНОЗУВАННЯ СЕРЕДНІХ, ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ВИТРАТ/РІВНІВ ВОДИ
Річкові ділянки Дунаю

Дані за термін t-Дата, 05.07.1975

РІВНІ ВОДИ В СТВОРАХ ДУНАЮ
на вихідну дату

Номер поста	Річка -пост	Рівень, см
1	Дунай – Регенсбург	353
2	Дунай – Гофкірхен	459
3	Дунай – Відень	738
4	Дунай – Надьмарош	490
5	Дунай – Будапешт	636
6	Дунай – Мохач	696
7	Дунай – Ново Село	632
8	Дунай – Русе	680
9	Дунай – Чорновода	495
10	Дунай – Ізмаїл	324
11	Інн – Шердінг	503
12	Драва – Барч	578
13	Тиса – Сегед	448
14	Сава – Срем. Митровиця	450

ПРОГНОЗ
ВИТРАТ/РІВНІВ ВОДИ В СТВОРАХ ДУНАЮ
НА ТРИ ДЕСЯТИДЕНКИ
(Витрати – м³/с, рівні – см)

На 1-10 день від вихідної дати

НОМЕР СТВОР У	СТВОР (ПОСТ)	ВИТРАТА ВОДИ			РІВЕНЬ ВОДИ		
		СЕРЕДНЯ	МАКСИМ.	МІНІМ.	СЕРЕДНІЙ	МАКСИМ.	МІНІМ.
2	Гофкірхен	1007- 1231	1226- 1499	837- 1023	399-439	440-480	362-402
3	Відень	3787- 4629	4436- 5422	3129- 3824	490-530	562-602	422-462
4	Надьмарош	4804- 5871	5329- 6513	4090- 4999	439-479	485-525	374-414
5	Будапешт	4845- 5922	5395- 6594	4103- 5015	598-638	655-695	515-555
6	Мохач	5355- 6545	5820- 7114	4651- 5685	828-868	869-909	756-796
7	Ново Село	8746-10690	9345-11422	7686- 9395	641-681	679-719	576-616
8	Русе	9266-11325	9888-12086	8514-10406	633-673	663-703	572-612
9	Чорновода	4096- 5006	4313- 5271	3839- 4692	467-507	487-527	437-477
10	Ізмаїл	5674- 6935	5902- 7213	5488- 6707	277-317	291-331	268-308

На 11-20 день від вихідної дати

НОМЕР СТВОР У	СТВОР (ПОСТ)	ВИТРАТА ВОДИ			РІВЕНЬ ВОДИ		
		СЕРЕДНЯ	МАКСИМ.	МІНІМ.	СЕРЕДНІЙ	МАКСИМ	МІНІМ.
2	Гофкірхен	-	-	-	-	-	-
3	Відень	-	-	-	-	-	-
4	Надьмарош	3129- 3824	3537- 4323	2667- 3259	277-317	315-355	221-261
5	Будапешт	3206- 3918	3624- 4430	2726- 3332	416-456	462-502	362-402
6	Мохач	3602- 4402	3944- 4821	3160- 3863	624-664	669-709	562-602
7	Ново Село	10162-12420	10832-13239	8989-10986	723-763	747-787	659-699
8	Русе	10390-12699	11058-13515	9583-11712	689-729	724-764	648-688
9	Чорновода	4976- 6082	5211- 6369	4710- 5757	548-588	571-611	522-562
10	Ізмаїл	7011- 8570	7252- 8864	6838- 8358	359-399	377-417	349-389

На 21-30 день від вихідної дати

НОМЕР СТВОР У	СТВОР (ПОСТ)	ВИТРАТА ВОДИ			РІВЕНЬ ВОДИ		
		СЕРЕДНЯ	МАКСИМ.	МІНІМ.	СЕРЕДНІЙ	МАКСИМ	МІНІМ.
2	Гофкірхен	-	-	-	-	-	-
3	Відень	-	-	-	-	-	-
4	Надьмарош	-	-	-	-	-	-
5	Будапешт	-	-	-	-	-	-
6	Мохач	-	-	-	-	-	-
7	Ново Село	8075- 9870	8641-10562	7069- 8640	603-643	635-675	530-570
8	Русе	9113-11138	9729-11891	8369-10229	625-665	656-696	562-602
9	Чорновода	4281- 5233	4502- 5502	4022- 4916	484-524	504-544	459-499
10	Ізмаїл	6127- 7488	6359- 7772	5945- 7266	306-346	320-360	294-334