

ГІДРОЛОГІЯ. ВОДНІ РЕСУРСИ

УДК 556.5.06+519.711.3

М.М. Сосєдко, Т.В. Маслова, О.А. Липкань

ТЕХНОЛОГІЯ ВЗАЄМОДІЇ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМУВАННЯ СТОКУ

На прикладі річкового басейну Південного Бугу показано можливість короткотермінового прогнозування весняного стоку води в умовах неоднорідності просторового водоутворення. З цією метою використано в комплексі математичну модель формування стоку та ступеневу модель переміщення водних мас на річковій мережі.

Ключові слова: математичні моделі, формування весняного стоку, прогностичні системи.

Вступ

За допомогою моделі формування весняного стоку СНІГ-3 здійснюється короткотермінове прогнозування перебігу стоку води з 5 часткових басейнів, які відрізняються ландшафтними особливостями та метеорологічними ситуаціями, що складаються на даний час. Для кожного часткового басейну методом декомпозиції визначено параметри СНІГ-3, які враховують особливості формування стоку. У цій моделі кожна часткова площа подається динамічною підсистемою, яка складається із трьох умовних ємкостей, в яких відбувається утворення поверхневого, підповерхневого та ґрунтового стоку. Завчасність прогнозування перебігу стоку з часткових басейнів – 2 доби. Крім того, ще на три доби розраховується зі всіх часткових басейнів ймовірнісний перебіг стоку в трьох варіантах залежно від перебігу водоутворення на часткових площах.

Результати прогнозних оцінок з часткових басейнів технологічно пов'язані та враховуються ступеневою моделлю STUFE, яка діє в середніх та нижніх ділянках річки і, таким чином, дозволяє прогнозувати чи розраховувати стік води по всій річковій системі.

Суть питання

Формування річкового стоку протягом весняного сезону є сукупністю досить складних процесів, які більше ускладнюються внаслідок впливу розмаїтості ландшафтних умов на просторово-часовий розподіл гідрометеорологічних величин по території. У зв'язку з цим вимоги до отримання детальної інформації про умови стокоутворення дуже часто не можуть задовольнятися через недостатню інформативну здатність мережі спостережень. Тому в практиці прогнозів доводиться одночасно вирішувати проблему погодження вимог до якості вихідних даних і можливості їхнього отримання за відповідної схематизації природних процесів, що розглядаються. Крім того, під час обчислення та прогнозування перебігу стоку нерідко виникає необхідність враховувати динаміку деяких характеристик, спостереження за якими взагалі відсутні або ж здійснюються з великими перервами в часі. У цьому випадку доводиться доповнювати ті дані, яких немає, шляхом розрахунків.

Методичні основи

Для прогнозування в оперативному режимі було розроблено Прогностичний комплекс для короткотермінового прогнозування перебігу стоку під час весняної повені в басейні Південного Бугу та Інгулу.

Як методичну базу, задіяно варіант 2 математичних моделей: СНІГ-3 та STUFE. Перша з цих моделей, СНІГ-3, враховує процеси, що відбуваються на водозборі протягом сніготанення: зміну властивостей снігового покриву, інтенсивність танення снігу, водоутворення на поверхні водозбору та в ґрунті, надходження талої та дощової води з водозбору та переміщення водних мас по річковій мережі. Друга модель, STUFE, враховує тільки процеси, що відбуваються в русловій мережі та слугує для переміщення водних мас по руслу річки [1-6].

Параметри моделей було оцінено за даними стандартних гідрометеорологічних спостережень.

Загальну структуру прогностичної системи для короткотермінового прогнозування перебігу стоку під час весняної повені в басейні Південного Бугу представлено на рис. 1.

Математична модель СНІГ-3, як і ряд інших математичних моделей формування стоку водопілля, включає в себе сукупність математичних і

логічних співвідношень, які описують розвиток стоку під впливом чинників, що формують його.

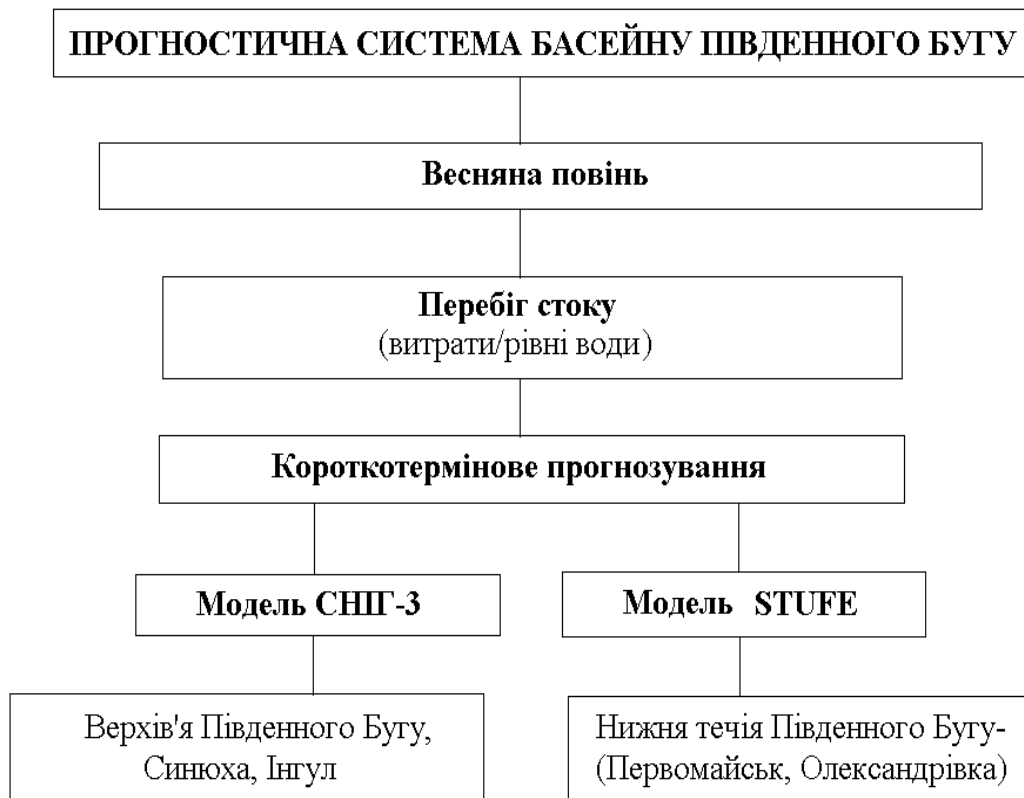


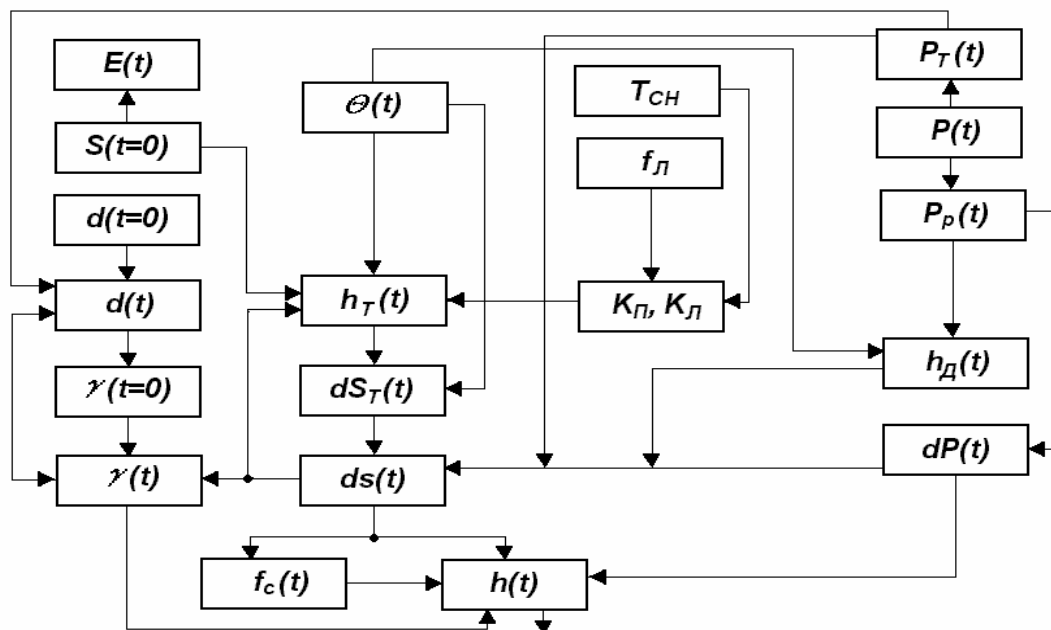
Рис. 1. Загальна структура прогностичної системи для короткотермінового прогнозування перебігу стоку під час повені в басейні Південного Бугу

У моделі описуються процеси сніготанення та водовіддачі, водоутворення, перерозподіл талої та дощової води на поверхні водозбору та в товщі його ґрунтів, враховується вплив водозбору та річкової мережі на переміщення водних мас. Модель працює у вигляді паралельних підсистем по кількості часткових водозборів (площ). Внаслідок такої схематизації кожна часткова площа як паралельна підсистема задіяна в моделі зі своїми функціями впливу, що відображають різний вплив поверхні водозбору, ґрунтового та підґрунтового горизонтів. Для забезпечення функціонування всієї системи формування стоку, як єдиного цілого, в моделі організовано безперервну взаємодію підсистем між собою та зі складниками зовнішнього середовища протягом будь-якого визначеного періоду часу за наявності вихідної гідрометеорологічної інформації.

Така структура моделі дає можливість врахувати просторову неоднорідність накопичення снігу та інтенсивність його танення. Кожен із перерахованих процесів дуже складний та потребує розробки

математичних моделей окремих процесів, які є частками всього процесу формування повені.

У підсистемі сніготанення та водовіддачі моделі Сніг-3 подано основні процеси, які відбуваються на кожній частковій площі водозбору з початку утворення снігового покриву, настання відлиги чи початку весняного сніготанення та іншого моменту, визначеного користувачем, і до кінця сніготанення. Підсистема включає опис зміни стану снігового покриву під впливом зовнішніх чинників, хід танення снігу, затримання талої та дощової води в ньому, надходження води до поверхні водозбору (рис. 2).



$S(t=0)$ – початковий запас води в снігові, мм; $E(t)$ – інтенсивність випаровування, мм; $d(t=0)$ – початкова щільність снігового покриву, г/см³; $P_T(t)$ – кількість твердих опадів, мм; $d(t)$ – щільність снігового покриву на термін t , г/см³; $\gamma(t=0)$ – початкова вологомісткість снігу; $\gamma(t)$ – вологомісткість снігу на термін t ; $\Theta(t)$ – температура повітря, °С; $h_T(t)$ – інтенсивність танення снігу, мм; $dS_T(t)$ – залісеність водозбору; $K_{П}, K_{Л}$ – коефіцієнти танення снігу на відкритій місцевості та в лісі; $P(t)$ – кількість опадів, мм; $P_p(t)$ – кількість рідких опадів, мм; $h_D(t)$ – інтенсивність танення снігу від дощу; $f_c(t)$ – ступінь покритості водозбору снігом; $dP(t)$ – затримання талої та дощової води на водозборі, мм; $h(t)$ – надходження води на водозбір (шар водовіддачі зі снігу) мм

Рис. 2. Структура підсистеми процесів сніготанення та водовіддавання математичної моделі СНІГ-3

Звичайно, опис деяких процесів і взаємодія між складовими підсистеми схематизовано таким чином, щоб вирішення завдання було забезпечено необхідними вихідними даними.

Початкова вологомісткість снігу, яка визначає його водоутримувальну здатність, оцінюється за формулою А.Г. Ковзеля [7]. Під час танення снігу його вологомісткість змінюється залежно від відносного зменшення запасів води [5]. Сума зменшення запасів води зі снігу відбувається внаслідок танення під впливом теплого повітря та дощу. У підсистемі сніготанення враховується зміна щільності снігу за період його танення, виходячи з обчисленої вологомісткості. Проте сніговий покрив ущільнюється також і за від'ємних температур під впливом сонячної радіації. У моделі відповідне збільшення щільності визначається через температуру повітря.

Щільність і вологомісткість снігу змінюється також внаслідок випадання твердих і рідких опадів. Ці характеристики в моделі обчислюються за відповідними рівняннями. Надходження води на водозбір визначається з урахуванням вологомісткості снігу, покритості площі снігом і кількості рідких опадів.

Тала та дощова вода, яка надійшла на поверхню водозбору, витрачається на випаровування, частково просочується в ґрунт, а решта стікає у вигляді поверхневого стоку. Частка води із шару, що просочується, йде на втрати в нижчезміщені горизонти (підґрунтя), а із тої, що залишилась, формується ґрунтовий стік. Поверхнева та ґрунтова складова – це основні компоненти річкового стоку.

Втрати на випаровування зі снігу та ґрунту для кожної часткової площі обчислюються залежно від дефіциту вологості повітря, залісеності, ступеня покритості площі снігом та стану поверхні ґрунту, звільненого від снігу. Останній чинник визначається через температуру повітря. Зроблено таке припущення, що з мерзлого ґрунту та зі снігу інтенсивність випаровування в лісі майже в два рази менша, ніж на відкритій місцевості. Зроблено також припущення, що інтенсивність випаровування з талого ґрунту, вільного від снігу, залежить лише від дефіциту вологості повітря.

Інтенсивність інфільтрації залежить від надходження води на поверхню водозбору та стану цієї поверхні. Останній оцінюється в моделі через товщину мерзлого шару ґрунту. Хоча умови інфільтрації на залісених і відкритих ділянках не однакові, у разі практичної реалізації

моделі, обчислення інтенсивності інфільтрації виконується в загальному для часткової площі.

Визначення товщини мерзлого шару ґрунту в моделі здійснюється шляхом безперервного обчислення зміни глибини промерзання та відтавання за даними про температуру повітря та висоту снігового покриву. З цією метою використано залежності, отримані в результаті аналізу матеріалів спостережень воднобалансових станцій [8].

Таким чином в моделі, маючи на увазі, що частина води фільтрується в підґрунтя, обчислюється інтенсивність водоутворення ґрунтового стоку q_2 .

В обчисленні інтенсивності поверхневого водоутворення q_1 через певні параметри враховано затримання води на поверхні водозбору.

Інтенсивність підґрунтового (базисного) стоку q_3 вважається постійною в періоди, коли відбувається стікання талої та дощової води у вигляді поверхневого та ґрунтового стоку, а в решту часу вона знижується за експонентним законом з параметром R .

Витрати води в замикальному створі водозбору $Q(t)$ подаються в моделі як сума чотирьох складових, тобто наступних витрат з кожної часткової площі (паралельної підсистеми):

- поверхневого стоку – $Q_1(t)$
- ґрунтового стоку – $Q_2(t)$
- підґрунтового стоку – $Q_3(t)$
- витрат води внаслідок виснаження її запасів, що накопичилися в річковій мережі до початку розрахункового періоду (на термін $t = 0$) – $QR(t)$.

Таким чином,

$$Q(t) = \sum_{i=1}^N f_i / F [Q_{1i}(t) + Q_{2i}(t)] + Q_{3i}(t) + QR(t), \quad (1)$$

де N – кількість часткових площ (паралельних підсистем), F – загальна площа водозбору, f_i – розмір часткової (i -тої площі).

Для отримання витрат поверхневого (Q_1) та ґрунтового (Q_2) стоку застосовуються відповідні функції впливу, за допомогою яких обчислюються процеси переміщення водних мас (водоутворення) до замикального створу. Функції впливу поверхневого P_1 та ґрунтового стоку P_2 i -тих підсистем апроксимовано гамма-розподілом з параметрами: $\tau_{1i}, n_{1i}, \tau_{2i}, n_{2i}$ [9].

Складові Q_3 та QR подаються з урахуванням їхнього внеску та перебігу в процесі формування стоку наступним чином [10]:

$$Q_{3i}(t)=q_{3i}(t); QR=R^t[Q(t=0) - Q_3(t=0)], \quad (2)$$

де R – параметр функції виснаження ґрунтового та підґрунтового стоку.

У складі математичних виразів в моделі СНІГ-3, за допомогою яких подано опис процесів формування весняного стоку, вживаються параметри, що мають просторово-загальний або регіональний характер. Частина параметрів моделі, які використано під час опрацювання методики, подано у вигляді констант. Решта – оцінюються за даними гідрометеорологічних спостережень.

До цієї групи відносяться наступні **параметри моделі СНІГ-3:**

K_1, K_2 – коефіцієнти рівняння для обчислення інтенсивності випаровування з поверхні часткової площі;

K_3 – параметр, що визначає поглинальну та дренавальну здатність ґрунтового горизонту;

K_5 – параметр, що враховує інтенсивність зміни зволоженості діючої площі водозбору внаслідок відтоку води;

W_m – максимальна вологомісткість шару ґрунту, в якому формується ґрунтовий стік;

i_0 – інтенсивність фільтрації води до нижчерозміщених шарів підґрунтя;

η – максимальний відносний показник площі, на якій формується поверхневий стік;

m – параметр, який визначає зміну відносного показника площі водозбору (часткової його площі) залежно від шару водоутворення;

R – параметр кривої виснаження підповерхневого та ґрунтового стоку;

τ_1, n_1 – параметри функції впливу поверхневого стоку;

τ_2, n_2 – параметри функції впливу ґрунтового стоку.

Деякі з визначених параметрів не змінюються, а інші параметри потребують уточнення шляхом оптимізації з урахуванням процесів, що відбуваються на водозборі під час формування стоку. Слід зазначити, що в ході визначення деяких параметрів робилися відповідні розрахунки. Так, наприклад, параметр функції виснаження R відображає зв'язок між витратами води за два суміжних терміни та визначається для конкретних

водозборів шляхом побудови цих залежностей, орієнтуючись на низькі водопілля. Значення параметра i_0 – коефіцієнта фільтрації, оцінюється для кожного водозбору окремо. З цією метою було проаналізовано значення мінімальних витрат води. Можна вважати, якщо на спаді водопілля зміна витрат води не відбувається, то припиняється надходження води до замикального створу від поверхневого та ґрунтового стоку, але запаси води в підґрунті в цей час ще є, і поки що не починають виснажуватися.

За допомогою моделі СНІГ-3 розроблено методичну базу короткотермінового прогнозування витрат води для верхів'їв Південного Бугу, Синюхи та Інгулу: для створів Селище, Тростянчик, Підгір'я, Синюхин Брід, Кіровоград та Новогорожене із завчасністю 2 доби.

Для створів нижньої течії Південного Бугу, для Первомайська та Олександрівки застосовано іншу модель – модель переміщення паводкової хвилі – STUFE.

Встановлення функцій впливу кількості спостережень за стоком у вхідному та замикальному створах відбувалося методом оптимізації.

Річки Південного Бугу та Інгулу у весняний період живляться в основному талими водами. У разі дружного сніготанення та значних снігозапасів, гідрографи мають одновершинну форму. Якщо ж затяжне сніготанення, то форму трапеції. За перервного сніготанення чи випадання дощів на спаді повені форма гідрографа – багатoverшинна [11].

У середні та низькі за водністю роки весняна повінь не виражена через значну зарегульованість річок Південного Бугу.

Запаси води в сніговому покриві в різні роки змінюються від 6 до 190 мм в різних частинах водозбору. Глибина промерзання – від 6 до 125 см.

Запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту восени під озимими змінюються також в значних межах (від 20 до 350 мм).

У ході опрацювання методичної бази прогностичної системи використано матеріали гідрометеорологічних спостережень 11 метеостанцій та 8 гідрологічних постів (рис. 3, табл. 1-2).

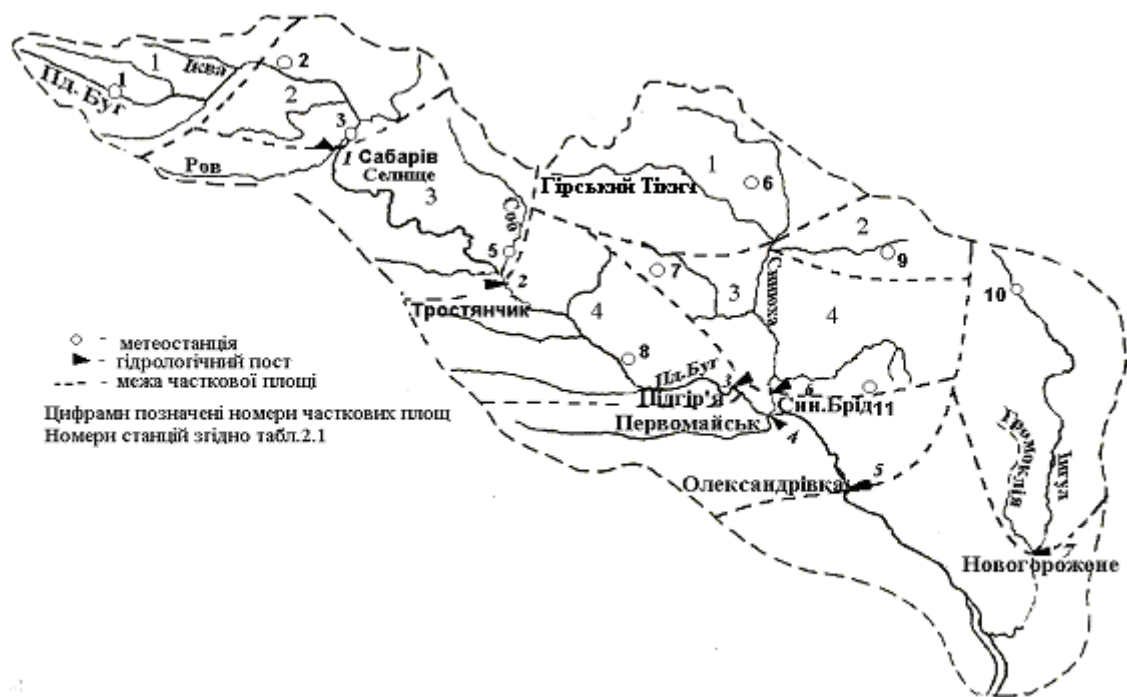


Рис. 3. Загальна схема прогностичної системи в басейні Південного Бугу та Інгулу

Таблиця 1

Метеорологічні станції в басейні Південного Бугу

Номер за схемою	Станція, індекс	
М1	Хмельницький	33429
М2	Хмельник	33439
М3	Вінниця	33562
М4	Жмеринка	33564
М5	Гайсин	33577
М6	Звенигородка	33593
М7	Умань	33587
М8	Гайворон	33686
М9	Новомиргород	33598
М10	Кіровоград	33711
М11	Помічна	33705

Прогнозні гідрологічні пости в басейні Південного Бугу

Номер за схемою	Річка – пост	
1	Південний Буг – Селище, індекс	81353
2	Південний Буг – Тростянчик	81361
3	Південний Буг – Підгір'я	81363
4	Південний Буг – Первомайськ	81365
5	Південний Буг – Олександрівка	81801
6	Синюха – Синюхин Брід	81417
7	Інгул – Новогорожене	81450
8	Інгул – Кіровоград	81446

Просторова структура складається із часткових басейнів і часткових площ окремих басейнів (табл. 3). Це дає можливість врахувати нерівномірність розподілу гідрометеорологічних величин по території басейнів та зміну умов переміщення хвилі повені по річковій мережі.

Таким чином, оцінено площинні параметри для визначення середніх значень метеорологічних величин у межах виділених часткових площ.

Процеси сніготанення, подачі води на водозбір, водоутворення, регулювання стоку по території обчислюються в кожній частковій площі. Так створено можливість відображати просторову й часову неоднорідність умов формування весняного стоку.

Найважливіший та трудомісткий етап роботи – це отримання оптимальних параметрів моделі. На першому етапі оптимізація параметрів моделі проводилась за даними добових значень метеорологічних величин. Надалі отримані параметри уточнювались з використанням вхідної інформації за 12-годинний інтервал часу. Під час переходу розрахунків з одного розрахункового інтервалу до іншого існує взаємодія між параметрами моделі. Цей взаємозв'язок наведено в табл. 4.

Моделювання виконувалося за даними про температуру повітря, дефіцит вологості повітря та опади в терміни, які характеризують нічну та денну частину доби. Задля врахування впливу на динаміку теплового режиму та інтенсивність сніготанення в денну частину доби вводилися температурні поправки. Для деяких років це дає значне покращення розрахованих значень витрат води. Максимальне значення температурної поправки встановлено на рівні 0,5 °С. У кінцевому варіанті методики розрахунковий інтервал прийнято рівним 12 годинам. Проводився аналіз

параметра η , який характеризує площу водозбору і змінюється під час усього періоду водопілля залежно від шару утвореної на водозборі води.

Таблиця 3

Просторова структура прогностичної системи для Південного Бугу (часткові басейни та часткові площі на водозборах Південного Бугу та Інгулу)

Часткова площа	Розташування, замикальний створ	Площа, км ²	Питома вага в загальній площі	* МКФ		Залишеність FL%	* WL мм
				$\Delta t = 12 \text{ год}$ (43,2/F)	$\Delta t = 24 \text{ год}$ (86,4/F)		
1 Південний Буг – Селище -2							
1	Витік – Лелетка	4000	0,44	0,01080	0,02160	8	200
2	Лелетка – Селище	5100	0,56	0,00847	0,01694	13	200
1-2	Південний Буг – Селище	9100	1,00	0,00475	0,00950	11	
2 Південний Буг – Тростяничок -3							
1	Витік – Лелетка	4000	0,23	0,01080	0,02160	8	200
2	Лелетка – Селище	5100	0,29	0,00847	0,01694	13	200
3	Селище – Тростяничок	8300	0,48	0,00520	0,01041	11	190
1-3	Півд. Буг – Тростяничок	17400	1,00	0,00248	0,00497	11	
3 Південний Буг – Підгір'я -4							
1	Витік – Лелетка	4000	0,16	0,01080	0,02160	8	200
2	Лелетка – Селище	5100	0,21	0,00847	0,01694	13	200
3	Селище – Тростяничок	8300	0,34	0,00520	0,01041	11	190
4	Тростяничок - Підгір'я	7200	0,29	0,00600	0,01200	21	190
1-4	Півд. Буг – Підгір'я	24600	1,00	0,00176	0,00351	14	
4 Синюха – Синюхин Брід – 4							
1	Витік Гнилого та Гірського Тікича – до злиття (умовний створ)	5000	0,30	0,00864	0,01728	3	180
2	Басейн Великої Висі (ліва заплава) до гирла Великої Висі	3700	0,22	0,01168	0,02340	3	180
3	Від злиття річок Гнилого та Гірського Тікича (умовний створ) до Синюхиного Броду (правобережна заплава)	4000	0,24	0,01080	0,02160	5	180
4	Гирло Великої Висі – Синюхин Брід	4000	0,24	0,01080	0,02160	5	180
1-4	Синюха – Синюхин Брід	16700	1,00	0,00259	0,00517	5	
5 Інгул – Новогорожене -1							
1	Витік – Новогорожене	6670	1,00	0,00648	0,01295	1	180
8 Інгул – Кіровоград – 1							
1	Витік – Кіровоград	840	1,00	0,05143	0,10286	2	180

Примітка. * WL – запас продуктивної вологи в ґрунті за найменшої вологомісткості в шарі 0-100 см, МКФ – параметр для переводу мм в м³/с

Таблиця 4

Взаємозв'язок параметрів математичної моделі СНІГ-3

Параметри за розрахункового інтервалу $\Delta t = 12$ год	Перехід до більшого розрахункового інтервалу $\Delta t = 24$ год
K_1, K_2	*2, *2
K_3	/2
K_5	*2
W_m	W_m
i_0	*2
R	R^2
η	η
m	m
τ_1	/2
τ_2	/2
n_1	n_1
n_2	n_2

Цей параметр непрямим способом характеризує просторовий коефіцієнт стоку, який з року в рік для різних річок змінюється. Був намір виявити максимальне значення цього параметра від предикторів, які можуть його визначити.

Для оцінювання цього параметра залучалися дані про зволоженість водозбору, глибину промерзання ґрунту та снігозапаси напередодні весняного водопілля, але це не дало належного зв'язку. Також не виявлено надійної залежності з показником передповеневої водності. Існує певна тенденція залежності параметра η від середнього модуля стоку безпосередньо перед початком підйому повені. Середнє значення параметра η наведено в табл. 5.

Таблиця 5

Середнє значення параметра η , що характеризує діючу площу водозбору за період весняного водопілля в басейні Південного Бугу

Річка - пост	Параметр η
Південний Буг – Селище	0,49
Південний Буг – Тростянчик	0,38
Південний Буг – Підгір'я	0,28
Синюха – Синюхин Брід	0,21
Інгул – Новогорожене	0,38

Застосування моделі STUFE

Як відмічалось вище, для розрахунку (прогнозування) ходу весняного стоку р. Південний Буг біля Первомайська та Олександрівки запропоновано іншу схему з використанням трансформаційної моделі. Обчислення переміщення повенеких хвиль (водних мас) за межами основної зони формування стоку, тобто на річкових ділянках, де проміжний приплив води менший порівняно з надходженням її з верхів'їв, можна здійснювати за допомогою моделі трансформації водних мас із застосуванням функцій впливу.

Вхідними величинами моделі за проміжок часу від початку вхідних масивів до терміну прогнозування є витрати або рівні води (Q , H):

- Південний Буг – Підгір'я – 1 вхід – за результатами прогнозування моделі СНІГ-3;

- Синюха – Синюхин Брід – 2 вхід – за результатами прогнозування моделі СНІГ-3;

- Південний Буг – Первомайськ (прогнозний створ);

- Південний Буг – Олександрівка (прогнозний створ).

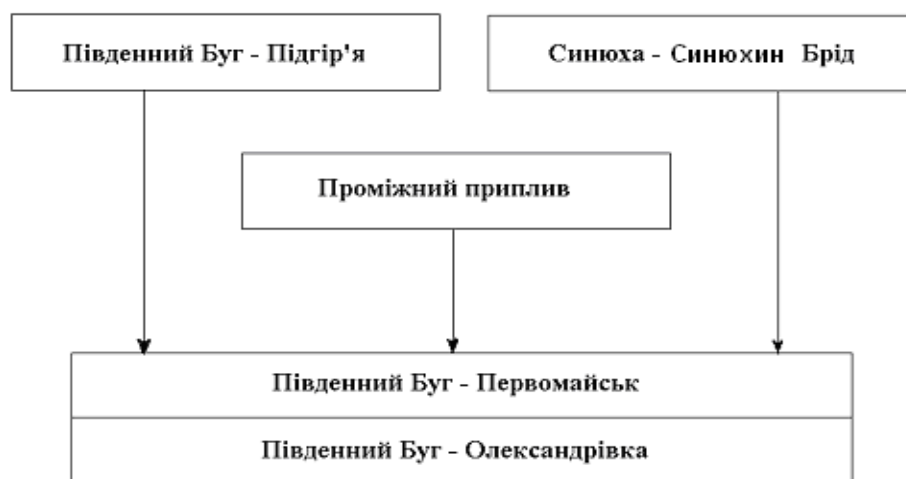


Рис. 4. Загальна схема об'єктів у підсистемі короткотермінового прогнозування перебігу стоку води за моделлю STUFE

Проміжний приплив води на ділянку між верхнім і нижнім її створами розглядається, як дві складові, і може задаватися в моделі у вигляді ряду, у вигляді коефіцієнта або $const$. У нашому випадку проміжний приплив задано у вигляді коефіцієнта K . Половина

проміжного припливу води трансформується разом із припливом, що надходить через верхній створ або, як у нашому випадку, на вході ми маємо стік через 2 створи (Південний Буг - Підгір'я та Синюха - Синюхин Брід), а друга половина додається до розрахованої витрати води в нижньому створі ділянки.

Таблиця 6

Параметри моделі STUFE для короткотермінового прогнозування в створах Південний Буг-Первомайськ та Південний Буг-Олександрівка

Річка – пост	τ	n	Проміжний приплив, K
Південний Буг – Первомайськ Гранична витрата $Q \leq 3000 \text{ м}^3/\text{с}$	0,5	2,0	0,05
Південний Буг – Олександрівка Гранична витрата $Q \leq 3000 \text{ м}^3/\text{с}$	0,7	2,0	0,1

Приклад прогнозування за моделлю СНІГ-3 для Півд. Бугу (Підгір'я):

MODEL СНІГ - 3

3 Півден.Буг- Підгір'я $t=12$. Прогноз витрат Q та рівнів води H (3 варіанти)
За даними на термін : година 3, день 18, місяць 3, рік 2003

	Прогноз										Ймовірний хід (час у годинах від $T+0$)											
	T+ 0	T+ 12	T+ 24	T+ 36	T+ 48	T+ 60	T+ 72	T+ 84	T+ 96	T+108	T+120	T+ 0	T+ 12	T+ 24	T+ 36	T+ 48	T+ 60	T+ 72	T+ 84	T+ 96	T+108	T+120
3 Південний Буг –Підгір'я $t=12$																						
(1)																						
Q	575.	634.	603.	580.	562.	547.	532.	514.	494.	473.	449.	575.	634.	603.	580.	562.	547.	532.	514.	494.	473.	449.
H	539	557	547	540	534	530	525	520	513	506	501	539	557	547	540	534	530	525	520	513	506	501
(2)																						
Q	575.	635.	606.	587.	575.	567.	559.	547.	532.	513.	492.	575.	635.	606.	587.	575.	567.	559.	547.	532.	513.	492.
H	539	557	548	542	538	536	534	530	525	519	512	539	557	548	542	538	536	534	530	525	519	512
(3)																						
Q	575.	634.	601.	573.	549.	527.	504.	481.	457.	432.	407.	575.	634.	601.	573.	549.	527.	504.	481.	457.	432.	407.
H	539	556	547	538	530	523	516	509	502	495	486	539	556	547	538	530	523	516	509	502	495	486

Варіанти прогнозу витрат води за інтенсивністю водоутворення на 4 наступні терміни: (1) – збереження, (2) – збільшення, (3)- зниження

Можлива макс. інтенсивність водоутворення за розрахунковий інтервал (Забезпеченість 5%)= 20.0 mm

Варіанти прогнозу об'ємів стоку з водозбору (млн.куб.м) за 120 годин

(1) 257. (2) 267. (3) 247.

Приклад прогнозування за моделлю STUFE для Півд. Бугу
(Первомайськ та Олександрівка)

* ПІДСИСТЕМА "ПІВДЕННИЙ БУГ" за моделлю STUFE *

ПРОМІЖНИЙ ПРИПЛИВ ЗАДАНО *ЧЕРЕЗ КОЕФІЦІЄНТ

ПРОГНОЗ ВИТРАТ (Q) ТА РІВНІВ(Н) ВОДИ за даними на 18. 3.2003

	ПРОГНОЗ		ЙМОВІРНІСНИЙ ПЕРЕБІГ (У ДОБАХ ВІД T+0) РІЧКА-ПОСТ				
	T+0	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	
6 Первомайськ	Q 996.	801.	750.	720.	690.	660.	
	H 583	545	536	529	523	517	
7 Олександрівка	Q 911.	852.	781.	750.	719.	688.	
	H 967	945	917	903	890	876	

+++++++ЗАВДАННЯ ВИРІШЕНО+++++++

Функції впливу подаються у вигляді гамма-розподілу. Функція впливу вводиться у вигляді параметрів τ і n . Загальну схему прогнозування за моделлю STUFE наведено на рис. 4. Оптимальні параметри – в табл. 6. Розрахунковий інтервал прийнято за 1 добу.

Висновки

За допомогою моделі СНІГ-3 було розроблено методику короткотермінового прогнозування перебігу стоку води з 5 часткових басейнів Південного Бугу, які відрізняються ландшафтними особливостями та метеорологічними ситуаціями, що складаються на даний час. Результати прогнозних оцінок з часткових басейнів технологічно пов'язані та враховуються ступеневою моделлю STUFE, яка діє в середніх та нижніх ділянках річки і, таким чином, дозволяє прогнозувати чи розраховувати стік води з усієї річкової системи.

* *

1. *Соседко М.Н.* Пример имитационной системы формирования стока в речном бассейне // Тр. УкрНИГМИ. – Вып. 222. – 1987. – С. 61-69.

2. *Сусідко М.М., Лук'янець О.І.* Визначення оптимальної просторової деталізації гірських водозборів стосовно математичного моделювання стоку води // *Тр. УкрНДГМІ.* – Вип. 248. – 2000. – С. 108-115.
3. *Сусідко М.М.* Математичне моделювання процесів формування стоку як основа прогностичних систем // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.* *Наук.зб. Київ. нац. ун-ту.* Т. 1. – 2000. – С. 32-40.
4. *Кочелаба Е.И.* Применение нелинейной ступенчатой модели для расчета перемещения паводочной волны на участке реки // *Тр. УкрНИГМИ* – 1987. – Вип. 220. – С. 65-69.
5. *Попов Е.Г.* Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. – Л.: Гидрометеиздат. – 1983. – 396 с.
6. *Корень В.И.* Математические модели в прогнозах речного стока. – Л.: Гидрометеиздат. – 1991. – 200 с.
7. *Ковзель А.Г.* Исследование процесса формирования стока талых вод на малом водозборе // *Тр. ГГИ.* – 1953. – Вип. 38.
8. *Соседко М.Н., Кочелаба Е.И., Окорский В.П.* Оценка динамики промерзания и оттаивания почвы в полесских районах по математическим данным // *Тр. УкрНИГМИ.* – 1990. – Вип. 235. – С. 18-26.
9. *Руководство по гидрологическим прогнозам.* Вип. 1. – Л.: Гидрометеиздат. – 1989. – 358 с.
10. *Сусідко М.М., Лук'янець О.І.* Карпати – паводконебезпечний регіон України. Комплексна басейнова система прогнозування паводків у Закарпатті: методична та технологічна база її складових. – К.: Ніка-Центр, 2009. – 87 с.
11. *Ресурсы поверхностных вод СССР.* Т.6. Вип. 1 // *Под ред. М.С. Каганера.* – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – С. 884.

*Український науково-дослідний
гідрометеорологічний інститут, Київ*

М.Н. Соседко, Т.В. Маслова, О.А. Липкань

Технология взаимодействия математических моделей формирования стока

На примере речного бассейна Южного Буга показано возможность краткосрочного прогнозирования весеннего стока воды в условиях неоднородности пространственного водообразования. С этой целью использованы в комплексе математическая модель формирования стока и ступенчатая модель перемещения водных масс по речной сети.

Ключевые слова: математические модели, формирование весеннего стока, прогностические системы.

M.M. Sosedko, T.V. Maslova, O.A. Lypkan

The technology of interaction mathematical run-off forming models

On the example of the South Bug river basin the possibility of short-term forecast for spring run-off was designed in conditions of heterogeneity its spatial forming. Mathematical model of run-off forming together with step model of water masses moving within a river network was used to realize this task.

Keywords: mathematical model; runoff forming; forecasting system.