

УДК 556.5

Мамонтова Л. С.

Чернігівський державний інститут економіки і управління

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ ГІДРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Виконано короткий огляд існуючих методів і засобів ведення спостережень за основними показниками гідрологічного стану водних об'єктів.

Ключові слова: моніторинг, гідрологічні характеристики, водні об'єкти.

Вступ. Велике значення для проведення широкомасштабного моніторингу гідрологічних характеристик водних об'єктів має організація масового збору інформації про фізичні процеси в системі

© Л. С. Мамонтова

«атмосфера – водне середовище – дно» та оперативна обробка і достовірна інтерпретація одержаних результатів спостережень.

Гідрологічний режим річок України систематично почали вивчати в другій половині дев'ятнадцятого століття. В цей період було відкрито 120 водомірних постів. Тому можна вважати, що саме з цього почалась організація моніторингу гідрологічного режиму річок. В середині двадцятого століття на Україні існувало вже 534 гідрометеорологічних поста, причому на 402 вимірювали витрати води, на 64 – завислі наноси, на 3 – донні наноси, на 11 відбирали проби на механічний аналіз, а на 71 – на хімічний; на 43 постах були встановлені самописці рівнів води.

Характеризуючи стан гідрологічної мережі України у теперішній час, можна зазначити скорочення гідрологічних постів, на яких ведуться спостереження за основними характеристиками гідрологічного режиму річок та озер. Основу державної системи гідрологічних спостережень складають 20 гідрологічних станцій та підрозділів, 18 морських, 2 селестокові, 2 воднобалансові, 2 сніголавинні станції, 374 річкових, 60 озерних, 17 морських постів. А на багатьох малих і особливо на дуже малих річках країни практично відсутні систематичні гідрометричні спостереження [1].

Поки-що на водомірних постах для визначення гідрологічних характеристик застосовуються прості механічні пристрої, що використовують ручну працю спостерігача, і лише десять відсотків – дистанційні і автоматизовані пристрої, котрі в більшості випадків використовуються неефективно внаслідок значної розосередженості і, як наслідок, – ускладненого технічного обслуговування. Існуючі прилади, навіть дистанційні й автоматизовані, розраховані на ручне знімання, обробку і передачу інформації спостерігачем.

Спостереження за гідрологічним станом річок, озер і водосховищ ведуться на постійних і тимчасових водомірних постах за двома програмами: основною і допоміжною. Вимірювання висоти водної поверхні над умовною площиною порівняння – «нулем водомірного поста» – виконуються на всіх постах незалежно від програми спостережень [2].

Рейковий і пальовий водомірні пости широко розповсюджені внаслідок нескладності пристроїв і порівняно невисокої вартості. На рейкових постах встановлюється вертикальна або похила рейка з поділками, що дозволяє заміряти рівень з точністю до 1 см. На

невеликих річках з пологими берегами влаштовуються пальові пости, що складаються з групи паль. Палі розташовуються в одному створі, перпендикулярному середньому напрямку течії води. Рівні відлічуються по пересувній рейці (завдовжки біля 1,5 м з поділками через 1 см), яка ставиться вертикально на найближчу до берега палю, що знаходиться під водою [3,4,5].

Самописні водомірні пости встановлюються на водних об'єктах, рівень води у яких різко змінюється протягом доби. Одна з головних деталей самописця рівня – поплавець. Рух поплавця передається на передавальний і годинниковий механізми самописця, за допомогою яких на розграфленому папері (стрічці) записується графік зміни рівня в часі. Переваги для застосування поплавкової системи – відсутність інструментального дрейфу нуля, відносно проста конструкція і, відповідно, низька вартість. Недоліками є спосіб реєстрації результатів вимірювань – чорнилами на паперовій стрічці та неможливість дистанційної передачі інформації.

Передаточні водомірні пости споруджуються тоді, коли підхід до води важкодоступний (наприклад, дуже круті береги). Рівні води в таких випадках вимірюються вище поверхні води або збоку на березі. Передаточний водомірний пост обладнується як на березі, так і на гідротехнічній споруді [5].

Мостовий водомірний пост облаштовується на містку чи іншій споруді, розташованій над водою. Для цього на мосту (чи іншій споруді) вибирається і закріплюється постійна точка (нуль спостережень), висотне положення якої визначається нівелюванням від репера. Рівень води вимірюється рейкою, розміченим тросом чи рулеткою з тягарцем [3].

Дистанційні водомірні пости незалежно від конструкції і принципу дії складаються з датчика, джерела живлення, каналу зв'язку і реєстратора даних про висоту рівня. Датчики більшості дистанційних рівнемірів мають поплавковий пристрій, але є також пневматичні, фотоелементні, акустичні, радіолокаційні [6,7].

Останніми роками розроблено багато акустичних вимірювачів висоти рівня, дія яких заснована на вимірюванні часу проходження звукового імпульсу, відбитого від поверхні води. Випромінювач імпульсів і приймач встановлюються над поверхнею води (над найвищим рівнем, що спостерігався на даному водному об'єкті). Акустичний випромінювач надсилає звуковий імпульс в напрямку

водної поверхні. Приймач фіксує відбитий імпульс, а час, що пройшов з моменту посилення імпульсу, дозволяє визначити відстань до водної поверхні [5].

Оскільки швидкість звуку в повітрі змінюється залежно від його температури і вологості ця технологія потребує компенсації змін температури повітря. Компенсація виконується шляхом вимірювань деякої постійної еталонної відстані і вимірювань температури повітря в робочій зоні. Крім того, всі вимірювання виконуються у звуковій трубі, що захищає від різких змін робочу зону вимірювача. Саму акустичну установку бажано розміщувати в зовнішньому колодязі, який зможе заспокоїти водну поверхню від хвиль і захистити від швидкої зміни температури повітря.

Принцип роботи пневматичних систем заснований на вимірюванні гідростатичного тиску стовпа води над фіксованою точкою і перетворенні його в еквівалентний рівень водойми з урахуванням щільності води і локальної гравітаційної сталої. Рівень вимірюється за допомогою перетворювача тиску, який розташовується під найнижчим рівнем, що очікується. Головний недолік цих вимірювачів – низька спроможність під час дії хвиль. Крім того, потрібно враховувати атмосферний тиск [8].

Дія радіолокаційних приладів заснована на вимірюванні часу розповсюдження імпульсу у радіохвильовому діапазоні. На відміну від акустичних приладів радар менш чутливий до зміни температури [9]. З'явилися іноземні автоматизовані пристрої і прилади, наприклад радарний датчик рівнів води OTT RLS, який розміщується на мостах і шлюзах. Діапазон вимірювань складає від 0,8 до 35 м. Недоліком радарних датчиків є неможливість безперервної дистанційної передачі й реєстрації даних. В нашій країні широкого використання ці системи не знайшли.

Супутникові методи знайшли використання останніми роками для моніторингу рівня води на внутрішніх водоймах. Головні переваги зондування підстилаючої поверхні у мікрохвильовому діапазоні пов'язані з доброю проникністю радіохвиль крізь атмосферу і хмарність, що дозволяє виконувати спостереження в любий час доби, практично при любій погоді, наявності в повітрі достатньо високої концентрації аерозолів. Це радіоальтиметри, які розміщені на супутниках CNES/NASA Topex–Poseidon і Jason-1. Головна проблема зондування рівнів води на невеликих акваторіях

виникає під час калібровки та валідації одержаної інформації, тому що стандартна обробка альтиметричної інформації розроблена для відкритого океану [10,11].

Методи і засоби визначення швидкостей течії річок ґрунтуються на різних фізичних принципах. За характером контакту з потоком їх можна поділити на групи (рис. 1).



Рис.1. Класифікація методів і приладів вимірювання швидкостей течії води

При застосуванні поплавкових спостережень виникають значні систематичні похибки. По-перше, в умовах нерівномірності руху спостерігається невідповідність осередненої за траєкторією швидкості і швидкості в точці її перетину з гідроствором. Значення похибки становить 10-15%. По-друге, на поплавокві вимірювання значно впливає вітер, поправки на вплив вітру розроблені і вводяться в умовх помірнього вітру до 5 м/с. По-третє, швидкість, виміряна поплавцями, перебільшена, оскільки поплавці опереждають рух часточок води [5,11].

Найпоширенішим приладом для виміру швидкостей річкових

потоків, що реалізує гідродинамічний метод, є гідрометричний млинок.

В теперішній час існує великий модельний ряд приладів, що випускають різні країни. Сучасні млинки різняться за технічними ознаками: напрямом осі обертання, устроєм лопатевого гвинта або ротора, устроєм контактного і лічильного механізмів, способу заглиблення приладу в воду [12].

Основні параметри і характеристики найбільш розповсюджених типів млиноків, що використовуються в гідрологічній мережі України, наведені у таблиці 1.

В існуючих моделях вирішені такі задачі, як можливість фіксації миттєвої швидкості (за рахунок використання однообертових млиноків з геконами); робота на малих глибинах (за рахунок зменшення діаметра ротора); вимірювання малих швидкостей (за рахунок використання легких конструкцій ротора); робота в косоструменевих потоках (за рахунок оптимізації компанентного ефекту) [12,13].

Однак, для різних конструкцій гідрометричних млиноків є певна мінімальна швидкість потоку, нижче якої показання приладів нестійкі і похибки у вимірах будуть дуже значні (10% і більше). Для кожного приладу в лабораторних умовах необхідно встановлювати межі вимірювання швидкостей. На показання млиноків значно впливає спрацьованість підшипників, потрапляння твердих часток у механізм приладу, а у випадку застосування масляних камер ходової частини і контактного механізму – також температура води. Із зниженням температури води в'язкість масла збільшується і створюється додатковий момент опору обертання ротора. Верхня межа швидкості потоку для застосування гідрометричних млиноків також вивчена недостатньо, вона чітко невизначена, орієнтовно це 15-20 м/с. Теоретично доведено, що усереднена місцева швидкість потоку, яку реєструє млинок, завжди більша за дійсну швидкість [13].

Останнім часом просліджується тенденція розробки і застосування високоефективних гідрологічних приладів, заснованих на використанні радіолокаційного і акустичного зондування. Як правило, такі прилади встановлюються на плаваючих транспортних засобах або стаціонарно по берегах річки, що значно підвищує продуктивність і ефективність використання.

Таблиця 1

Технічні дані деяких типів гідрометричних млинків

Тип	Діаметр лопатевого гвинта		Геометричний крок, мм		Початкова швидкість м/с		Критична швидкість м/с		Компанентність для $\alpha=40^\circ$ в %	
	№1	№2	№1	№2	№1	№2	№1	№2	№1	№2
Ж-3	120	120	250	500	0,04	0,06	5,0	5,0	0-25	25-45
ВЖМ-3	120	120	200	500	0,04	0,06	5,0	5,0	0-25	20-45
ГР-21	120	120	200	500	0,04	0,06	8,0	5,0	0-5	20-45
ГР-21М	120	120	200	500	0,04	0,06	8,0	5,0	0-5	20-45
ГР-55	170	270	110	200	0,05	0,06	5,0	5,0	0-5	0-10
ГР-11	160	260	110	200	0,06	0,10	5,0	5,0	0-5	0-10
ГР1М	170	270	110	200	0,05	0,08	8,0	8,0	0-5	0-10
ГР-99	80		130		0,06		5,0		0-5	

Акустичний профілометр Допплера (АПДТ) встановлюється на судні (спрямований вниз), на якорі на дні (спрямований вгору) або на березі (бокового огляду). Датчик звукових імпульсів розповсюджує у воді імпульси або 3-4 акустичних променів. Імпульси відбиваються від бульбашок повітря або завислих твердих часток,

що переміщуються в полі акустичного променя, і викликають доплерівський зсув звуку, на основі чого розраховується швидкість течії. Виробники приладу встановлюють точність вимірювання швидкості 0,25%, для ідеальної умови однорідності горизонтальної швидкості, що в природних водотоках не виконується. Відсутність або мала концентрація у воді завислих твердих часток або, навпаки, завелика їх концентрація не дозволяє використовувати прилад АПДТ, крім того, поряд з крутими берегами виникають великі похибки в вимірюваннях. [14].

Вимірювач швидкості на основі великомасштабного зображення часток (DLSPIN) дає можливість вимірювання векторів миттєвої швидкості в різних потоках, що утворюються в контрольованому водному середовищі. Визначення швидкості природних водотоків полягає у виконанні знімків поверхні водотоку з видимими елементами (трасери течії). Швидкість потоку оцінюється на основі обробки пар послідовних знімків. Поки що цей прилад малоефективний для використання в природних умовах і застосовується в лабораторіях для вивчення властивостей рідини. [15]

Різновидом акустичного є ультразвукове зондування. Вимірювання осередненої по створу швидкості течії цим методом виконуються шляхом посилання імпульсів ультразвуку з двох випромінювачів за косим галсом у напрямку течії і проти неї з реєстрацією двох часових інтервалів [13].

Ультразвукове зондування можна виконувати в різних напрямках в плані і на різних глибинах, але для визначеності необхідне горизонтальне положення ультразвукового променя на одному рівні. Внаслідок значних похибок від непаралельності площин розповсюдження ультразвукових променів з протилежних берегів і технічних ускладнень для усунення цих похибок, широкого застосування цей метод не знайшов [16].

Радіолокаційний метод, заснований на використанні ефекту Доплера. Опромінення поверхні води виконується з мосту або берега широким променем, в межах якого осереднюється швидкість течії. Вимірювання виконуються тільки поверхневої швидкості, щоб перейти до осередненої по вертикалі потрібно застосовувати перехідні коефіцієнти. Похибки визначення поверхневої швидкості по відношенню до вимірювань млинком становлять 2-3% [14,17].

Теплові вимірювачі швидкості течії засновані на вимірюванні інтенсивності теплообміну між потоком і зануреним в нього чутливим елементом. Термогідрометри застосовуються головним чином в лабораторних умовах або дренажно-колекторних каналах. В природних умовах їх застосовують тільки при проведенні наукових досліджень. Існуючі прилади вимірюють швидкість в межах 0,05-1,5 м/с з похибкою 1,5%. [18]

Електромагнітні методи вимірювання швидкості течії дозволяють визначити швидкість за різницею потенціалів, яка виникає в потоці при проходженні води через електромагнітний контур, що утворюється штучно шляхом прокладання на дні витків кабелю. Середня швидкість течії пропорційна різниці потенціалів на кінцях вимірювального контуру, але виникає значна складність в посиленні напруги між зондами, які закладаються по берегах водойми. Ці методи мають перспективу для вимірювань швидкості в зарослених і деформованих руслах зі складним гідравлічним режимом. [19]

Вимірювання глибин водних об'єктів виконується різними методами, в основі яких лежать застосування ручних, механічних або акустичних приладів. До ручних приладів відносять рейку водомірну або нівелірну, гідрометричну штангу, ручний лот. Механічний метод передбачає застосування лоту, що кріпиться до лебідки з відліковим пристроєм.

Базовим методом для моніторингу водних об'єктів є ехолотний промір. Принцип дії ехолота базується на визначенні глибин за інтервалом часу проходження ультразвукового імпульсу від випромінювача до дна водного об'єкта і в зворотному напрямку [13]. Характеристики сучасних ехолотів наведено в табл. 2.

Під час вимірювання глибин ехолотом виникає ряд похибок: за відхилення вертикальної швидкості звуку від розрахункової; за рефракцію; за неточне визначення часу; місця нуля ехолота; за наявність бази між приймачами, за просідання і колювання плавзасобу під час промірів; за нахил дна водойми. В середньому інструментальна похибка ехолота становить 1-2,5% від глибини [20].

Недолік акустичного методу – недостатня надійність вимірювання глибин для значної замуленості води, аерації, а також за наявності водної рослинності.

Характеристика сучасних ехолотів

№ п/п	Марка ехолоту	Країна випуску	Діапазон глибин, м	Похибка (інструм.)	Робоча частота, кГц	Діаграми, направл. кут. град.
1	ПЭЛ-4	СРСР	0,4-200	0 ÷ 10 - 0,2 % Н 10 ÷ 40-0,3 % Н 40 ÷ 200 – 1% Н	135	7
2	ЕІР	СРСР	0,5 - 20	0,5 ÷ 5 - 0,1 Н 5 ÷ 20 - 2 % Н	30 - 180	7
3	ElacHydrostar-4300	ElacNautic (Німеч.)	0,4 - 1000	0,05 % Н	28 - 210	7
4	Sonar Lite	Ohmex Instruments (Англія)	0,3 - 80	0,05 % Н	200	8 - 10
5	Bathy-500MF	ELACNautic (Німеч.)	0 - 640	0,5 % Н	200	
6	Navisound 100D	Reson-Navitronic (Данія)	0,5 - 640	1 - 7 см	28 - 35; 190 - 225	
7	РДР-80	Японія	0,3-80	0,1% Н	100	6
8	EDO - 579	США	0,6-240	0,2% Н	14	25
9	MS-36	Англія	0,6-1000	0,2% Н	10	15
10	Atlas-Electronik	Німеччина	до 1400	0,25% Н	30/210	7,5/14,4

Висновки. Поки-що на водомірних постах для ведення гідрологічного моніторингу використовується застаріле обладнання: рейки водомірні, самописці рівнів води, гідрометричні млинки і, різних типів гідрометричні дистанційні установки. Дев'яносто відсотків гідрометричних приладів – це прості механічні пристрої, що використовують ручну працю спостерігача, і лише десять відсотків – дистанційні і автоматизовані пристрої, котрі в більшості випадків використовуються неефективно внаслідок значної розосередженості і, як наслідок, – ускладненого технічного обслуговування. Існуючі прилади, навіть дистанційні й автоматизовані, розраховані на ручне знімання, обробку і пересилку інформації спостерігачем, не задовольняють вимогам до точності, оперативності та детальності одержуваної інформації і потребують вдосконалення.

Розробка і впровадження нових методів і засобів гідрологічного моніторингу підвищеної точності, спрямованих на автоматизацію і комп'ютеризацію, – це головна задача сьогодення. Її вирішення повинно відбуватись по різних напрямках, але головними є модернізація старих і розробка нових методів і технічних засобів одержання гідрологічних характеристик водних об'єктів.

Література:

1. *Швебс, Г. І.* Каталог річок і водойм України. Навчально-довідковий посібник / Г. І. Швебс, М. І. Ігошин. – Одеса : «Астропринт», 2003. – 389с.

2. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам : Вып. 2, ч. 11. Гидрологические наблюдения на постах – Л. : Гидрометеоиздат, 1975. – 264 с.

3. *Железняков, Г. В.* Теория гидрометрии / Г. В. Железняков. – Л. : Гидрометеоиздат, 1976. – 334 с.

4. *Логвинчук, А. Н.* Обзор методов и средств измерения уровня природных вод / Логвинчук А. Н. // Системы контроля окружающей среды : Сб. научн. тр. НАН Украины, МГИ : Севастополь, 2005. – С. 47-53.

5. *Яцик А. В.* Водогосподарська екологія : у 4 т./ Яцик А. В. – К. : Генеза, 2003. – Т. 1, кн. 1-2. – 400 с.

6. *Высоцкий, Д. В.* Развитие технических средств для гидрологических наблюдений / Высоцкий Д. В., Рымша Г. В., Шкурко В. К. // Труды У1 Всероссийского гидрологического съезда

28 сентября – 1 октября 2004 г. Санкт-Петербург.

7. *Зима, В. В.* Опыт цифровой регистрации измерений уровня моря на основе стандартной поплавковой системы «СУМ» гидрометстанции Севастополь / В. В. Зима, Л. Н. Репетин // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное исследование ресурсов шельфа. – Севастополь : ЭКОСИ – Гидрофизика. – 2005, 12. – С. 498 – 506.

8. Измеритель уровня моря / [Гайский В. А., Греков Н. А., Гайский П. А., Забурдаев В. И. и др.] // Системы контроля окружающей среды. Севастополь : МГИ НАНУ, 2001. – С. 67–70.

9. Радарный метод для бесконтактного измерения уровня воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ottfrance.com/web/ott_fr.nsf/id/pa_rls_fr.html.

10. *Троицкая, Ю. И.* Изменчивость уровня воды и высоты поверхностного волнения в Горьковском и Рыбинском водохранилищах на основе альтиметрических данных спутника Jason-2 / Троицкая Ю. И., Рыбушкина Г. В., Соустова И. А. // Девятая всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». – Москва, ИКИ РАН, 14-18 ноября 2011 г.

11. *Малявский Б. К.* Методы определения гидрологических характеристик рек с самолета / Малявский Б. К. – М. : Транспорт, 1963. – 118 с.

12. Клименко Д. Е. Развитие гидрометрических вертушек в России и за рубежом / Е. Д. Клименко // Географический вестник. – 2010. – №2 (13). – С. 12-24.

13. *Васильев, А. В.* Водно-технические изыскания / А. В. Васильев, С. В. Шмидт. – Л. : Гидрометеоиздат, 1987. – 357 с.

14. Проблемы технического переоснащения системы гидрологических наблюдений / [Г. С. Клейн, Б. Р. Нежинский, Н. Я. Соловьев и др.] // Сборник трудов ГГИ «Проблемы современной гидрологии». – Л. : Гидрометеоиздат. – 1989. – С. 58-73.

15. *Масте, М.* Развитие гидрометрической техники: новые приборы для картографирования гидродинамики рек // Масте Мэриан, Вон Ким, Дженис М. Фулфорд [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://meteo.gov.ua/en/news/9>.

16. Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Способ измерения расходов воды с использованием

ультразвуковых (акустических) измерителей скорости. Общие технические требования. (ИСО 6416-92) : ГОСТ Р 51657.5-2002. – [Действующий от 2003-07-01]. – М. : Госстандарт России, 2002. – 12 с. – (Национальный стандарт России).

17. *Клейн, Г. С.* Доплеровский измеритель поверхностной скорости течения реки / Г. С. Клейн, Г. А. Юфит // Метеорология и гидрология. – 1984. – № 1. – С. 113-116.

18. *Карасев, И. Г.* Гидрометрия / И. Г. Карасев, А. В. Шумков. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 345 с.

19. *Вельт, И. Д.* Современное состояние и перспективы развития электромагнитных расходомеров / И. Д. Вельт, И. Н. Гудковая. Г. : ЦНИИТЭИ приборостроения, 1978. – 52 с.

20. Руководство по топографической съемке шельфа и внутренних водоемов. – ГКИНП-11-157-88. – М., ЦНИГАиК, 1989. – 515 с.

Л. С. Мамонтова

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Выполнен краткий обзор существующих методов и средств ведения наблюдений за основными показателями гидрологического состояния водных объектов.

Ключевые слова: мониторинг, гидрологические характеристики, водные объекты.

L. Mamontova

THE OVERVIEW OF EXISTING METHODS AND MONITORING MEANS OF WATER OBJECTS GIDROLOGICAL CHARACTERISTICS

Completed a short overview of existing methods and tools for conducting observations on the basic parameters of the hydrological condition of water objects.

Keywords: monitoring, hydrological characteristics, water objects.

Надійшла до редакції 11 квітня 2013 р.