УДК 521.43+504.3.054 д.ф.-м.н., проф. **Лепих Я.И.** (ОНУ им. И.И. Мечникова)
к.т.н. **Приступа А.Л.** (ЧТУ)
к.геогр.н. **Бунякова Ю.Я.** (ОДЭУ)
Сантоний В.И. (ОНУ им. И.И. Мечникова)
Будиянская Л.Н. (ОНУ им. И.И. Мечникова)
д.т.н., проф. **Аверченков В.И.** (БГТУ, Россия)
к.т.н., доц. **Кришнев Ю.В.** (ГГТУ, Беларусь)

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА УРОВНЯ ВОДЫ ОТКРЫТЫХ ВОДОЕМОВ

Анализируются технические характеристики систем мониторинга уровня воды открытых водоемов бассейна р. Десна, которые используются на его приграничних территориях Украины, Республики Беларусь и Российской Федерации. Дается общая характеристика приграничной части водного бассейна годового гидрологического режима, системы сбора данных и их систематизации. Приводятся данные о сети гидрологических постов, их типы, технические характеристики и их географическое расположение. Описаны гидрологические факторы, влияющие на выбор места установления и конструкции самописцев уровня воды. Рассматриваются вопросы унификации подходов формирования базы даных многолетних наблюдений, которые учитывают требования Всемирной метеорологической организации. Показана необходимость усовершенствования технических характеристик систем мониторинга уровня воды открытых водоемов.

Ключевые слова система мониторинга водного бассейна, гидрологические посты, база данных наблюдений

Введение. Успех противопаводковых мероприятий, исключающих значительные материальные потери, а иногда и гибель людей, в определяющей степени зависит от обоснованных управленческих решений, базирующихся на данных систем противопаводкового мониторинга уровня воды в бассейнах рек. Отсюда следует, что технические и эксплуатационные характеристик таких систем необходимо постоянно совершенствовать, используя новейшие достижения в области датчикового приборостроения и информационных технологий. Часто водные бассейны рек занимают территории, не ограничивающиеся одним государством. Это, в свою очередь, требует координации действий соответствующих служб и организаций различных стран. При этом важным становиться унификация технических средств и исходных данных систем мониторинга.

В этой связи исследования, посвященные указанным проблемам, имеют большое социально-экономическое значение и являются достаточно актуальными. В данной статье рассмотрен комплекс задач, касающихся решения указанной проблемы, на примере бассейна реки Десна, который охватывает приграничные области Украины, Республики Беларусь и Российской Федерации.

Общая характеристика водного бассейна р. Десна

Река Десна – наибольший левобережный приток р. Днепра длиной 1130 км. За водосборной площадью Десна занимает второе место (89174 км^2) после р. Припяти (104720 км^2).

В Украине протяжность Десны составляет 591 км. Наклон ее русла 1м/км. На своем пути р. Десна принимает 18 правых притоков (наибольшие – Судость, протяжность 197 км и Снов, протяжность 199 км и 13 левых (основные – Сейм, протяжность 597 км и Остер, протяжность 137 км). Вообще водосборный бассейн р. Десны состоит из 292 рек. (рис. 1), которое сопровождается широкими разливами и низкой летней границей. Замерзает речка в декабре, лед сходит в марте.

В соответствии с [1] с целью систематизации данных о заборе и использовании вод, сбрасывания обратных вод и загрязняющих веществ, наличия систем оборотного

водоснабжения и их мощности, а также действующих систем очистки сточных вод и их эффективность и т.п. осуществляется государственный учет вод.

Рис. 1. Бассейн р. Десна

Государственный учет поверхностных вод осуществляется специально уполномоченным центральным органом исполнительной власти по вопросам гидрометеорологии путем проведения постоянных гидрометрических, гидрохимических наблюдений за количественными и качественными характеристиками поверхностных вод в соответствии с программой, которая утверждается этим органом по согласованию со специально уполномоченным центральным органом исполнительной власти по вопросам экологии и естественных ресурсов и специально уполномоченным центральным органом исполнительной власти по вопросам водного хозяйства [2].

Сеть гидрометеорологических наблюдений в бассейне речки Десна и верховьях Днепра

С целью систематизации данных государственного учета вод составляется Государственный водный кадастр. Мониторинг вод осуществляется гидрометеорологической службой на гидрологических постах (ГП) и метеостанциях. Схема размещения гидрологических постов в бассейнах речки Десна и верховьях Днепра представлена на рис. 2.

На речках Клевинь и Ивотка осуществляется регулирование стока. В зависимости от водосборной площади бассейна речки делятся на большие, средние и маленькие. К большим относятся речки, которые расположены в нескольких географических зонах и имеют площадь водосбора свыше 50 тыс. квадратных километров. К средним относятся речки, которые имеют площадь водосбора от 2 до 50 тыс. квадратных километров. К маленьким относятся речки с площадью водосбора до 2 тыс. квадратных километров.

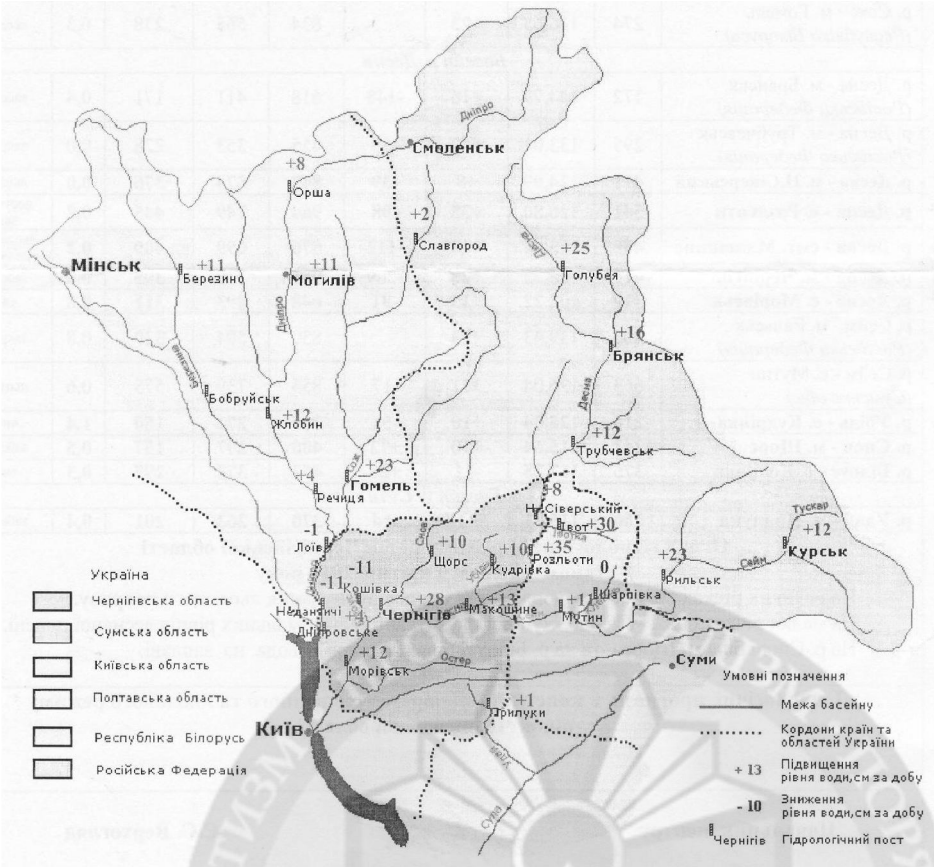

Рис. 2. Схема размещения гидрологических постов

Первые гидрологические посты на речке Десна были построены еще в конце XIX ст. Количество гидрологических постов и их местоположение с течением времени изменялись. Сегодня на территории Украины в бассейнах речки Десна и верховьях Днепра расположено 13 стационарных гидрологических постов. Перечень гидрологических постов и значение нуля постов приведен в таблице 1.

Таблица 1

Перечень гидрологических постов в бассейнах речки Десна и верховьях Днепра

Речка, на которой размещен ГП	**Населенный пункт, возле которого размещен ГП**	**Отметка нуля поста, м БС**
Днепр	с. Неданчичи	100,58
Днепр (Киевское водохранилище)	с. Днепровское	100
Десна	г. Новгород-Северский	119,98
Десна	с. Розлёты	115,38
Десна	пгт. Макошино	108,76
Десна	г. Чернигов	102,44
Десна	с. Моривск	99,03
Убидь	с. Кудривка	122,9
Сейм	с. Мутин	119,41
Снов	г. Щорс	113,22
Билоус	с. Кошивка	113,5
Клевинь	с. Шарпивка	127,96
Ивотка	с. Ивот	125,24

Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних речках выполняются согласно [3], а на маленьких речках – согласно [4]. В регионе к большим речкам относятся Десна и Днепр, к средних – Сейм, Снов, к маленьким – Убидь, Билоус, Клевинь, Ивотка. На больших и средних речках в регионе, который рассматривается, гидрологические посты выполняются следующих типов: рельсовые, сваечные и комбинированные (рис. 3). Рельсы и сваи должны обязательно иметь приводки к нулю поста для получения по ним уровней воды в единой системе отсчетов [3,4].

На маленьких речках водомерные гидрологические посты в данном регионе оборудованы самописцами уровня воды (СУВ). Установка СУВ состоит из следующих элементов:

- самописца уровня - прибора, который измеряет и регистрирует изменение высоты уровня воды в реке (водохранилище);
- колодца для размещения поплавка (датчика) уровнемера и его защиты от внешних влияний, которые могут нарушить работу самописца;
- соединительного устройства для обеспечения беспрерывной связи уровней воды в реке (водохранилище) и поплавковом колодце;
- измерительного павильона для размещения регистрирующей части уровнемера и ее защиты от внешних отрицательных влияний;
- вспомогательных гидротехнических устройств, предназначенных для защиты установки

от заиления, подмыва, разрушения льдом при ледоходе и предотвращения возникновения в поплавковом колодце волновых возмущений.

а)

б)

Рис. 3. Сваечный а) и рельсовый б) гидрологические посты

Для строительства колодцев установок СУВ обычно используют стандартные железобетонные кольца и куски асбестоцементных и металлических стандартных труб нужных диаметров и длины. Колодцы делают и монолитными - армобетонными, кирпичными (из гидротехнического кирпича), с шпунтовых досок и брусьев, в виде деревянных колодезных срубов квадратного сечения.

Наилучшая форма поплавковых колодцев на плане - круглая. Внутренний диаметр зависит от глубины закладывания. К глубине колодца 1,2 м внутренний диаметр его не рекомендуется делать меньше 0,4-0,6 м. При глубине свыше 1,2 м - внутренний диаметр колодца надо делать не меньше 0,8 м [4].

На выбор местоположения установки СУВ, ее типа и конструкции влияют следующие гидрологические факторы:

- амплитуда и интенсивность изменения уровня воды во времени в речке (водоеме);

- продолжительность периода с отрицательными температурами, интенсивность и продолжительность ледохода, условия его прохождения в зоне размещения установки СУВ, оценки уровня воды при ледоходе и ледоставе, наибольшая толщина льда (или отсутствие ледяного покрова), наличие донного льда;

- затраты донных и подвесных наносов, характер их распределения в годовом и многолетнем разрезах, гранулометрический состав;

- очертание речного русла и пойм на плане, форма поперечного сечения установки, крутизна берегов, физико-механического свойства грунтов, которые составляют берег, характер и глубина их залегания;

- интенсивность и характер русловых деформаций на участке размещения установки;

- скорости в речном потоке, степень его аэрации (на горных реках), характер и интенсивность процессов макротурбулентности в зоне размещения установки СУВ.

Эти же факторы определяют собой условия и особенности технической эксплуатации установок СУВ. Амплитуда колебаний уровней воды, глубина реки в межене, очертание берега и заплавы определяют общую высоту установки СУВ, глубину закладки ее колодцев и соединительного устройства, длину последнего, компоновку (одноярусная, двухъярусная) и тип установки (береговой или островной).

План размещения СУВ показан на рис. 4.

Конструкция соединительных устройств установок СУВ, форма и размеры их поперечных разрезов зависят от интенсивности изменения уровня воды во времени и параметров волн на водном объекте, частоты колебаний последних, макротурбулентности.

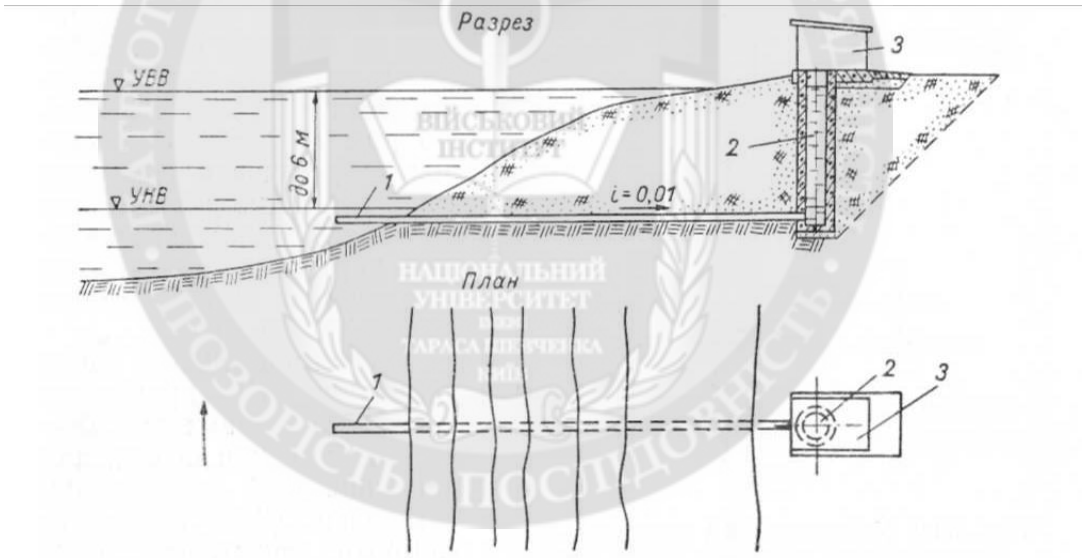

Рис. 4. Размещение СУВ берегового типа

1 – соединительное устройство; 2 – колодец; 3 – измерительный павильон

Организация наблюдений на гидрологических постах

На гидрологических постах проводятся стандартные наблюдения за следующими характеристиками гидрологического режима [3, 4]:

- высотой уровня воды;
- температурой воды;
- толщиной льда;
- высотой снега на льду;
- состоянием водного объекта;
- уклоном водной поверхности;
- высотой уровня подземных вод;
- затратами воды;

- мутностью воды и затратами наносов;
- химическим составом воды (качеством воды);
- волнением и течениями на озерах и водоемах.

В практике гидрологических работ информация, которая поступает из речных и озерных постов, подразделяется на режимную и оперативную.

Режимная информация, как правило, обрабатывается и анализируется по фазам гидрологического режима; окончательные результаты наблюдений оформляются в конце календарного года. Эта информация используется для изучения режима водных объектов и учета водных ресурсов.

Оперативная информация обрабатывается и выдается в режиме реального времени. Она используется для составления прогнозов и оповещения о стихийных гидрологических явлениях.

Выше указанные гидрологические посты являются стационарными и выполняют наблюдения за режимом водных объектов непрерывно в период от организации поста и до его закрытия.

В отдельных случаях, когда невозможно продолжать беспрерывные наблюдения можно проводить эпизодические наблюдения. В этом случае измерения выполняют эпизодически в момент посещения поста.

Оборудование гидрологического поста содержит в себе следующее [3, 4];
- устройства для измерения уровня воды;
- репера, относительно которых проверяется постоянство высотного положения;
- оборудование гидрометрического створа.

Для повышения точности учета стока организуются наблюдения за продольным уклоном водной поверхности.

Высотную привязку реперов гидрологических постов к государственной сети и нивелирование постовых устройств делают соответственно требованиям [3, 4]. Нивелирование контрольного репера и проведения контрольных нивелирований постовых устройств для измерения уровня воды выполняют в сроки, устанавливаемые в зависимости от способа и надежности установки этих устройств, а также от местных условий, оцениваемых на основании анализа результатов всех прежде сделанных нивелирований. Для определения региона нивелирование постовых устройств выполняют как правило 1 раз в год.

Кроме того, контрольное нивелирование постовых устройств выполняют сразу же после получения от наблюдателей сообщения о неисправности или повреждении устройств, а также после выявления значительных несвязок, вызванных изменением высотного положения нулей наблюдения.

Эксплуатационные характеристики ПИУ

Уровнем воды в водном объекте называется высота водной поверхности над условной горизонтальной плоскостью сравнения. Эту плоскость, неизменную по высоте, принимают за нуль графика гидрологического поста (нуль поста).

Наблюдение за уровнями воды на гидрологических постах должны быть организованы таким образом, чтобы материалы наблюдений на одном посте были сравнимые за весь период его действия и давали возможность сопоставления результатов по ряду постов, расположенных на одном водном объекте.

Уровни, измеренные на гидрологическом посте, приводятся к нулю графика, высотная оценка которого остается постоянной для всего периода действия поста. Оценка нуля графика выбирается при организации поста с таким расчетом, чтобы плоскость нуля графика находилась не менее чем на 0,5 м ниже наиболее низкого уровня воды в водотоке, которого можно ждать в створе поста.

Кроме нуля графика на постах есть один или несколько (при наличии ряда рельсов или свай) нулей наблюдений.

Под понятием "нуль наблюдения" имеется в виду первая высотная плоскость от которой выполняется отсчет уровня воды в момент наблюдения.

На рельсовом посте - это плоскость нуля рельса, на сваечному - головка сваи, по которой в этот момент ведут наблюдение.

Превышение нулей рельсов, головок свай над нулем графика поста называется приводкой этих нулей наблюдений.

Наблюдения на гидрологическом посте могут быть начаты только после того, как будут выполнены следующие работы:

1) установлены постовые репера с предоставлением им отметок;
2) назначенная отметка нуля графика поста;
3) нивелированием от репера поста установленные отметки нулей наблюдений;
4) вычислены приводки всех нулей наблюдений над нулем графика поста, то есть различия отметок всех нулей рельсов, головок свай и отметки нуля графика.

Важным параметром ПИУ является интервал опрашивания его датчика. Избранный интервал опрашивания датчика должен обеспечивать получение характеристик экстремальных уровней воды, однородных по точности с аналогичными данными за предыдущий период, полученными по беспрерывной записи хода уровня механическими самописцами, которые применялись раньше.

Соблюдения этого условия имеет особое значение при выполнении наблюдений на маленьких реках и в зонах, где возможно регулирование уровня воды.

Соответственно требованиям [3] точки на линии записи самописца уровня воды типа ГР-38 или типа "Валдай" назначают через равные интервалы времени, или соединяют с характерными (переломными) точками записи:

- запись размечают по равным интервалам времени при плавном и однонаправленном ходу уровня;
- метод характерных точек применяют при резком изменении подъемов и спадов в ходе уровня.

Допускается комбинированное применение обеих методов.

Всемирная метеорологическая организация (ВМО) еще не установила единый подход к определению дискретности регистрации уровней воды и их преобразованию для постоянного сохранения.

Страны Европейского Содружества используют единую базу данных проб воды, записанных с усреднением по 15-минутным интервалам.

В национальных базах данных, например, в Германии, сохраняют многолетние первичные данные, измеренные с интервалом в 1 минуту. Точность измерения уровня воды (H) определяется в соответствии с [2-5].

Для большинства измерений уровня воды точность составляет ±1 см. Если сток (Q) определяется по зависимостям Q(H), то максимальная погрешность измерения уровня воды не должна превышать значение, представленное в таблице 2.

Таблица 2

Амплитуда колебаний уровня воды, м	Допустимая погрешность, см
меньше 2,5	0,5
2,5-5	1,0
5-10	2,0

В ряде случаев точность повышают до 0,1 см.

Допустимые погрешности измерения уровня при расчете стока по зависимостям Q(H).

Условия измерения уровня не всегда позволяют обеспечить точность измерения соответственно техническим данным приборов.

Для определения реальной точности измерения уровня в условиях волнения, больших скоростей и крупномасштабной пульсации необходимо провести несколько сравнительных исследовательских измерений с применением эталона (на сваечных и рельсовых постах может быть использованный рельс с успокоителем ГР-23), а также среднеарифметического

значения уровня из большого количества отсчетов на протяжении 5-10 мин (не менее 10 гребней и впадин).

По результатам сравнительных измерений вычисляется абсолютная средняя квадратичная погрешность σ_H в сантиметрах по формуле

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{\sum\left(H_i - \bar{H}\right)^2}{n-1}},$$

где $\bar{H} = \sum_i^n H_i / n$ – среднее арифметическое значение уровня;

H_i - единичное измерение уровня (полусумма отсчетов каждого гребня и впадины);

n - число измерений (не менее 10).

Погрешность, вычисленная по приведенной формуле, будет характеризовать возможную точность измерения уровня воды при заданных условиях.

Выводы. Проведенный анализ существующих методов и средств мониторинга уровня воды в открытых водоемах показал необходимость их совершенствования как с точки зрения улучшения метрологических параметров систем, так и автоматизации всей системы от измерения до передачи данных на большие расстояния.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственных фондов фундаментальных исследований Украины, Республики Беларусь и Российской Федерации (проект Ф55).

ЛИТЕРАТУРА

1. Водний кодекс України. – К.: Національний книжковий проект, 2011. – 80 с.
2. Природно-заповідний фонд Чернігівської області (за заг. Ред. Ю.О. Карпенка). - Чернігів, 2002. – 240 с.
3. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 6. Часть I. Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 380 с.
4. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 6. Часть II. Гидрологические наблюдения и работы на малых реках. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 268 с.
5. СНиП 2.01.14-83 Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госкомстрой СССР, 1985. – 47 с.

Рецензент: д.ф.-м.н., проф. Глушков А.В., директор и научный руководитель НИЦ новых методов матмоделирования окружающей среды и экологии, Одесский государственный экологический университет

д.ф.-м.н., проф. **Лепіх Я.І.,** к.т.н. **Приступа А.Л.**, к.геогр.н. **Бунякова Ю.Я.**, **Сантоній В.І.**, **Будіянська Л.М.,** д.т.н., проф. **Аверченков В.І.**, к.т.н., доц. **Кришнев Ю.В.**

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ РІВНЯ ВОДИ ВІДКРИТИХ ВОДОЙМ

Аналізуються технічні характеристики систем моніторингу рівня води відкритих водойм басейну р. Десна, що використовуються на його приграничних територіях України, Республіки Білорусь і Російської Федерації.. Дається загальна характеристика приграничної частини водного басейну річного гідрологічного режиму, системи збору даних і їх систематизації. Наводяться дані про мережу гідрологічних постів, їх типи, технічні характеристики та їх географічне розташування. Описані гідрологічні фактори, що впливають на вибір місця встановлення та конструкції самописців рівня води. Розглядаються питання уніфікації підходів

формування бази даних багаторічних спостережень, які враховують вимоги Всесвітньої метеорологічної організації. Показана необхідність удосконалення технічних характеристик систем моніторингу рівня води відкритих водойм.

Ключові слова: Система моніторингу водного басейну, гідрологічні пости, база даних спостережень

Lepikh Y., Prystupa A., Bunyakova Y., Santoni V., Budiyanskaya L., Averchenkov V., Krishna Y.

CHARACTERISTICS PERFORMANCE MONITORING WATER LEVEL OPEN WATERS

Water level of r. Desna open ponds monitoring system technical characteristics which are used on it border territories of Ukraine, Byelorussia and the Russian Federation are analyzed. The general characteristic of water basin border part of an annual hydrological regime, system of data gathering and their systematization is given. The data on hydrolodycal posts network, their types, characteristics and their geographical arrangement are cited. The hydrological factors influencing a place of an install and water level recorders design choice are described. Database long-term examination unification of formation approaches questions, which take into account requirements of the World Meteorological Organization are considered. The necessity of open ponds water level monitoring systems technical characteristics improvement is shown.

Keywords: water basin monitoring system, hydrological post, observation database