

Автоматизированная система мониторинга уровня воды в открытых водоемах

Я. И. Лепих¹, Ю. Я. Бунякова², Ю. В. Крышнев³, П. А. Снегур¹, 2019

¹Межведомственный научно-учебный физико-технический центр МОН
и НАН Украины при Одесском национальном университете
имени И.И. Мечникова, Одесса, Украина

²Одесский государственный экологический университет, Одесса, Украина,

³Гомельский государственный технический университет

имени П. О. Сухого, Гомель, Беларусь

Поступила 27 июня 2019 г.

Стаття присвячена створенню автоматизованих систем моніторингу рівня води у відкритих водоймах, призначених головним чином для контролю і попередження повеней при стихійних екстремальних природних явищах. Існуючі на цей час протипаводкові системи побудовані на застарілих принципах і морально застарілих технічних засобах і не дають змогу своєчасно оцінити реальну катастрофічну небезпеку повеней.

Запропоновано нові принципи побудови автоматизованої системи моніторингу водних басейнів на основі сучасних досягнень інформаційних систем високого рівня з використанням пристроїв, за допомогою яких можна отримувати в режимі on-line точний сигнал рівня води із застосуванням лазерних методів, сучасних методів обробки сигналів і систем передачі даних на значні відстані. Для побудови системи використано оригінальні науково-технічні рішення, захищені патентами.

Для автоматизованої системи моніторингу з метою практичного її застосування в широких масштабах територій, в тому числі таких, що охоплюють прикордонні території сусідніх держав, використано конкретні практичні дані гідрометеорологічних умов за тривалий період спостережень відповідними службами з надзвичайних ситуацій України та Республіки Білорусь з вимірювальних станцій (гідрометеорологічних постів).

В кінцевому підсумку застосування цієї системи дає змогу від лазерних рівнемірів по каналах стільникового зв'язку через вимірювальні модулі передавати по каналах Інтернету на базову станцію з подальшою візуалізацією і документуванням результатів вимірювань рівня води, динаміки його зміни приймати своєчасні обґрунтовані управлінські рішення щодо попередження паводкових катастроф.

Завдяки принципам і технічним рішенням, на яких базується система, її можна використовувати і для інших цілей, зокрема, як геоінформаційну систему для моніторингу коливань земної поверхні на великих площах, для стеження за зсувними процесами гірських масивів тощо.

Ключові слова: протипаводковий моніторинг рівня води, відкрита водойма, автоматизована система, прогнозування, бездротовий зв'язок.

Введение. Как известно, наводнения являются одним из видов повторяющихся стихийных бедствий, которые по размерам материального ущерба и человеческих жертв часто превосходят все другие чрезвычайные ситуации [Михайлов и др.,

2004]. Существующие общие климатические тенденции увеличения годовых сумм атмосферных осадков в результате экстремальных ливневых явлений для предупреждения катастрофических паводков и снижения отрицательных последствий вред-

ного действия вод делают необходимым проведение системного анализа и комплексного мониторинга водного режима рек и открытых водоемов [Мониторинг ..., 2003; Тимченко, 1990]. Вместе с тем анализ источников информации показал, что существующие противопаводковые системы малоэффективны и не могут надежно обеспечить защиту населения за счет раннего предупреждения о возможности наводнения [Лепих та ін., 2012]. Таким образом, наличие опасного природного явления в виде речных наводнений, несовершенство и ненадежность существующих противопаводковых систем, рост ущербов от наводнений повышают актуальность создания современной надежной системы мониторинга уровня воды открытых водоемов.

В настоящей статье разработаны более совершенные принципы, методы и создание автоматизированной противопаводковой системы для мониторинга открытых водоемов на основе анализа водных режимов рек и применения новых конструкций лазерных адаптивных телеуправляемых уровнемеров и современных информационно-коммуникационных технологий. При этом в процессе разработки

автоматизированной системы использованы данные о параметрах уровня воды в опасных районах, которые охватывают пограничные территории соседних государств Украины и Белоруссии, в частности, бассейны рек Сож, Припять, Днепр (Украина—Беларусь), Северский Донец, Десна (Украина).

Результаты исследований и их обсуждение. Сложившиеся гидрометеорологические условия в бассейнах рек Сож, Припять, Днепр в момент формирования максимумов весеннего половодья имеют следующие данные:

- Сож—Гомель — 661 см (свыше +146 см над опасным уровнем);
- Днепр—Жлобин— 458 см (свыше +48 см над опасным уровнем);
- Днепр—Речица-461 см (свыше +1 см над опасным уровнем);
- Днепр—Лоев — 623 см (свыше +78 см над опасным уровнем);
- Припять—Черничи — 587 см (свыше +87 см над опасным уровнем);
- Припять—Петриков — 878 см (свыше +98 см над опасным уровнем);
- Припять—Мозырь — 622 см (свыше +122 см над опасным уровнем);

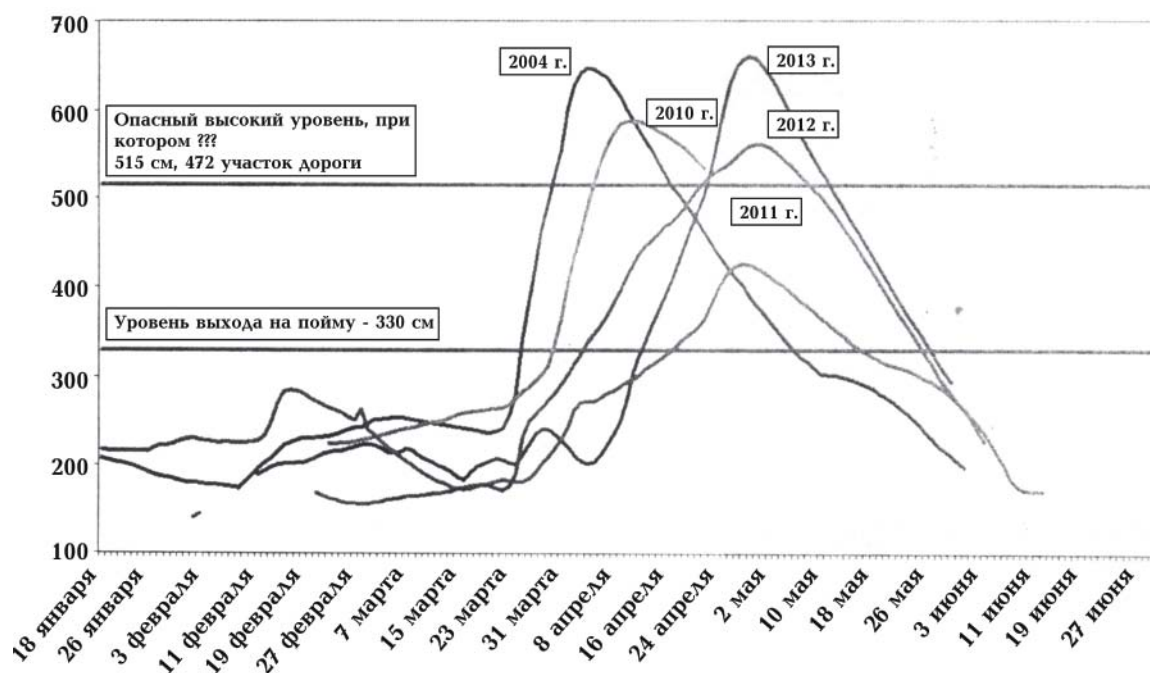


Рис. 1. Уровни воды в р. Сож по данным гидрометрического поста в г. Гомель (Республика Беларусь).

– Ипуть—Добруш — 503 см (свыше +53 см над опасным уровнем);

– Уборть—Краснобережье — 345 см (свыше +40 см над опасным уровнем).

Информация проанализирована по бассейнам рек Сож (четыре точки наблюдения).

В бассейне р. Сож на территории Беларуси высота снежного покрова составляла 1—67 см с запасом воды в снеге 41—201 мм. На р. Сож и ее притоках Беседа и Ипуть наблюдался ледостав с полыньями. На реках бассейна преобладает рост уровней воды с интенсивностью от 2 до 37 см за сутки. Максимальные уровни воды весеннего половодья в бассейне р. Сож выше средних многолетних значений представлены на рис. 1.

В бассейне р. Днепр на территории Беларуси высота снежного покрова составляла 19—74 см с запасом воды в снеге 53—201 мм. Повсеместно наблюдался ледостав и ледостав с полыньями, местами отмечалась вода на льду.

Интенсивность роста уровней воды составляла 1—46 см в сутки. Максимальные уровни воды весеннего половодья в бассейне реки выше средних многолетних значений представлены на рис. 2.

Проведенный анализ использован с целью определения потенциально наиболее опасных участков бассейна рек и оптимизации мест расположения уровнемеров автоматизированной системы противопаводкового мониторинга на гидрометрических постах.

В результате анализа современных конструкций и технических характеристик уровнемеров сформулированы следующие технические требования к лазерному уровнемеру, на основе которого должна строиться автоматизированная система.

Уровеньмер должен:

– быть защищен от ложного срабатывания при воздействии дестабилизирующих внешних факторов;

– эффективно работать в нестационарных условиях эксплуатации;

– обеспечивать возможность проведения дистанционного сбора и обработки информации об изменениях уровня воды независимо от состояния окружающей среды;

– оперативно реагировать на изменения экологической ситуации.

Основной подход к реализации лазерного уровнемера заключается в том, чтобы дестабилизирующие внешние факторы могли быть учтены при управлении ха-

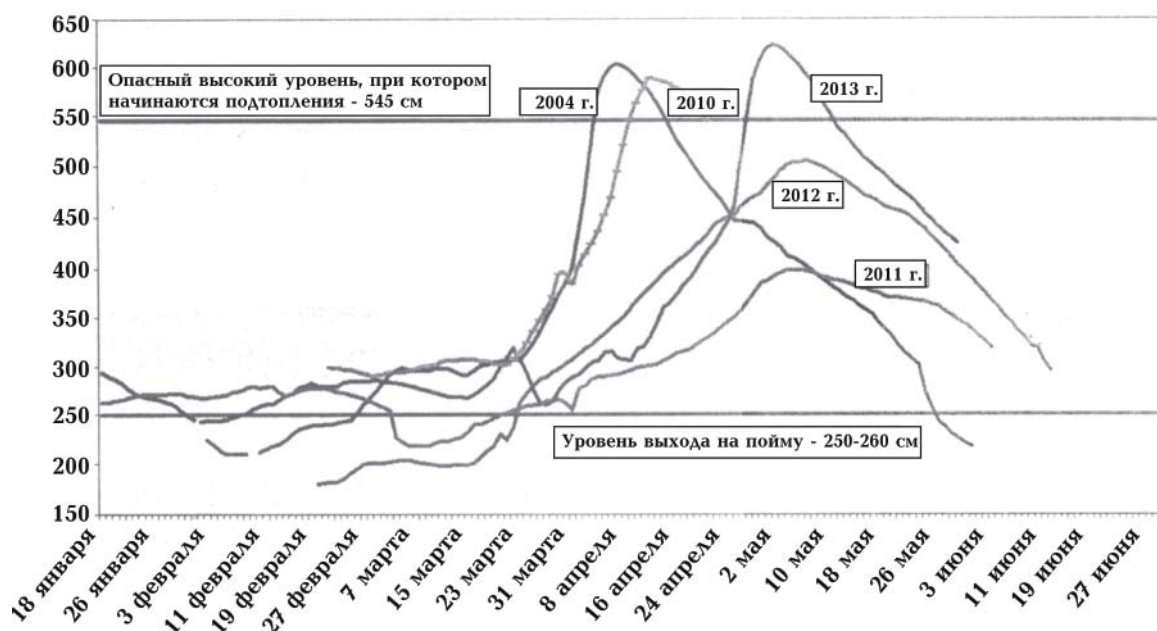


Рис. 2. Уровни воды в р. Днепр по данным гидрометрического поста в г. Лоев (Республика Беларусь).

раактеристиками интеллектуального датчика и распознавания оптических сигналов в условиях нестационарных помех [Лепіх та ін., 2015б; Солонина и др., 2002]. Для этого необходимо проведение их исследования, установление основных закономерностей и разработка соответствующих физико-математических моделей. При этом учет параметров внешних факторов адаптивным алгоритмом работы оптико-локационного уровнемера предполагает, что использование динамики оптико-геометрических соотношений усовершенствует измерительный процесс по параметрам точности.

Исследование структуры оптических сигналов в атмосферном канале и их влияние на точностные характеристики используемого сенсора позволят развить известные в данной научно-технической области методы и получить новые результаты и способ решения сложной научно-технической задачи [Лепіх та ін., 2011б; Оптико-электронные..., 2002; Zhang et al., 2010; Гимпилевич и др., 2013].

Оптимизация управления динамическим объектом с переменной структурой при наличии значительной неопределенности его текущего состояния возможна лишь при использовании структур, обеспечивающих оперативное получение достоверной информации о состоянии объекта в контролируемом регионе [Лепіх та ін., 2011а]. Увеличение эффективности применения оптико-локационных методов и устройств путем использования цифровых методов обработки сигналов позволит существенно снизить количество аналоговых функциональных операций.

В результате анализа современных программно-аппаратных разработок в области мониторинга уровня воды были сформулированы основные технические требования к создаваемой автоматизированной системе [Лепіх та ін., 2011а, б, 2014, 2015а; Lepikh et al., 2012]. Система должна:

- иметь распределенную архитектуру, включающую главный узел (базовую станцию) и измерительные узлы (измерительные станции);

- базироваться на использовании современных бесконтактных лазерных уровней, которые обладают возможностями учета посторонних влияний, предоставления достоверной информации, адаптации к внешним условиям (рациональному изменению режимов работы), организации передачи информации на основе использования беспроводных каналов связи в режимах, максимально приближенных к режиму реального времени;

- позволять осуществлять дистанционный контроль и оповещение о состоянии водных объектов с помощью персонального компьютера или мобильного телефона в автоматическом режиме, используя сеть сотовой связи;

- обладать обширной базой данных для накопления и систематизации результатов измерений уровней воды;

- заполнение базы данных с результатами измерений уровня воды должно проводиться в двух режимах: автоматическом — путем передачи информации с датчиков уровня воды и обработки этой информации в автоматизированной системе; в диалоговом — оператором автоматизированной системы; в состав системы должен входить модуль прогнозирования и/или подсистема поддержки принятия решений;

- в состав системы необходимо включить модуль визуализации результатов измерений уровня воды.

На основе сформулированных технических требований разработана концепция создания и структурная схема автоматизированной системы противопаводкового мониторинга уровня воды в открытых водоемах. Предполагается, что распределенная архитектура автоматизированной системы будет включать один главный узел (базовую станцию) и несколько измерительных узлов (измерительных станций).

Базовая станция представляет собой сервер или персональный компьютер, где осуществляется сбор информации об уровне воды с измерительных станций, отображение этой информации в удобном для пользователя виде (карта гидрометрических постов с таблицами и диаграммами и др.).

Измерительная станция является системой, состоящей из основного процессорного блока и беспроводных бесконтактных датчиков уровня воды. Она осуществляет

сбор информации с датчиков с помощью беспроводного канала связи, предварительно обрабатывая ее для уменьшения (компенсации) погрешности измерения,



Рис. 3. Структурная схема автоматизированной системы противопаводкового мониторинга уровня воды в открытых водоемах.

и передает на базовую станцию. При этом процессорный блок может быть реализован на основе ARM-процессора со встроенной операционной системой Linux. Используя беспроводной канал связи, он получает информацию с датчиков и осуществляет управление их конфигурацией и опросом. Также процессорный блок должен иметь Web-интерфейс, который позволит удаленно выполнять настройку всей измерительной станции.

Структурная схема автоматизированной системы противопаводкового мониторинга уровня воды в открытых водоемах представлена на рис. 3.

В качестве датчиков для измерения уровня воды использованы лазерные уровнемеры новой конструкции, которые способны к сложной обработке полученных сигналов, обеспечивают учет посторонних влияний и позволяют получить достоверную информацию. Кроме того, указанные уровнемеры обеспечивают рациональное изменение режимов работы в зависимости от обстоятельств, приспособлены к передаче данных по компьютерным сетям в режиме реального времени.

Сигнал от уровнемеров по каналам соевой связи передается в измерительные модули, которые могут физически размещаться, например, на процессорных блоках. Информация измерительных модулей может быть передана по каналам Интернет на базовую станцию, где размещены основные модули автоматизированной системы: обработки результатов измерений уровня воды, визуализации и прогнозирования, связанные с базой данных, в которой представлены результаты измерений уровня воды.

Модуль визуализации позволяет представлять фактические результаты измерений уровня воды, а также прогнозируемые значения, рассчитанные в модуле прогнозирования, в удобном для принятия решений виде. Один из вариантов — отображение информации накладывается на карты водоемов. Реализация этого варианта предполагает взаимосвязь с геоинформационной системой, на которой должны

быть представлены анализируемые водные объекты.

Модуль прогнозирования должен обеспечивать на основе применения математических методов статистики вычисление прогнозных результатов уровня воды на определенный период. Наиболее перспективный вариант — использование полноценной подсистемы поддержки принятия решений с базой знаний, которая позволит формировать рекомендации для оперативного принятия решений специалистом по чрезвычайным ситуациям. Результаты измерений могут передаваться в автоматизированную систему не только автоматически по каналам связи от уровнемеров, но и вводиться оператором автоматизированной системы вручную. Поддержка двух указанных режимов работы существенно расширяет возможности применения автоматизированной системы, обеспечивая ее универсальность и соблюдение принципов модульности и расширяемости при разработке программного обеспечения автоматизированной системы противопаводкового мониторинга.

Использование такой системы проведения локальных и глобальных обобщений по гидрологическому состоянию водных объектов, в том числе в смежных межгосударственных районах позволит более оперативно осуществлять межгосударственные организационно-технические противопаводковые мероприятия, которые существенно уменьшат материальные, а возможно, и человеческие потери от природных катастроф.

Выводы. Предложенная автоматизированная система позволит расширить возможности оперативного противопаводкового мониторинга путем увеличения объема и качества опорной информации, получаемой на гидрометрических постах, и обеспечит развитие дистанционных методов контроля количественных характеристик и гидрологического состояния водных объектов путем создания автономных уровнемеров с высокими метрологическими и эксплуатационными характеристиками на базе современной

микропроцессорной техники и средств телекоммуникации.

Кроме того, применение автоматизированной системы обеспечит достижение значительного экономического эффекта

за счет своевременного предупреждения катастроф и, таким образом, уменьшения материальных и человеческих потерь, что также обеспечит получение социального эффекта.

Список литературы

- Гимпилевич Ю. Б., Левин Е. А., Савочкин Д. А. Современное состояние и перспективы развития методов пространственной локализации объектов на основе технологии радиочастотной идентификации. *Радиотехника*. 2013. № 173. С. 69—80.
- Лепіх Я. І., Гордієнко Ю. О., Дзядевич С. В., Дружинин А. О., Євтух А. А., Ленков С. В., Мельник В. Г., Проценко В. О., Романов В. О. Інтелектуальні вимірювальні системи на основі мікроелектронних датчиків нового покоління. Одеса: Астропринт, 2011а. 352 с.
- Лепіх Я. І., Іванченко І. О., Будіянська Л. М., Сантоній В. І. Шляхи інтелектуалізації оптикоелектронного сенсора. *Сенсорна електроніка і мікросистемні технології*. 2014. Т. 11. № 2. С. 61—64.
- Лепіх Я. І., Ленков С. В., Мельник В. Г., Романов В. О., Проценко В. О. Інтелектуальні вимірювальні канали сенсорних систем. *Наука і оборона*. 2011б. № 2. С. 36—43.
- Лепіх Я. І., Сантоній В. І., Іванченко І. О., Будіянська Л. М. Створення мультипараметричного сенсора для екологічного моніторингу навколишнього середовища. *Сб. докл. II Міжнарод. научн.-практ. конф. «Современные ресурсосберегающие технологии. Проблемы и перспективы» 1—5 октября 2012, Украина, Одесса, ОНУ*. С. 264—268.
- Лепіх Я. І., Сантоній В. І., Янко В. В., Будіянська Л. М., Іванченко І. О. Прямовідліковий фазовий метод вимірювання малих дистанцій оптико-електронним сенсором у динамічних умовах. *Сенсорна електроніка і мікросистемні технології*. 2015а. Т. 12. № 4. С. 37—43.
- Лепіх Я. І., Сминтина В. А., Сантоній В. І., Іванченко І. О., Будіянська Л. М. Лазерний рівнемірний пристрій. Патент України № 110140 від 18.03.2014. Опубл. Бюл. № 22/2015 від 25.11.2015б.
- Михайлов В. Н., Михайлов М. В., Морозов В. Н., Корнилов М. В., Худолеев В. Н. Катастрофический паводок на Дунае в августе 2002 г. *Метеорология и гидрология*. 2004. № 1. С. 81—88.
- Мониторинг, использование и управление водными ресурсами бассейна р. Припять. Под ред. М. Ю. Калинина, А. Г. Ободовского. Минск: Белсэнс, 2003. 269 с.
- Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды. Под ред. В. Н. Рождествина. Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002, 528 с.
- Солонина А. И., Улахович Д. А., Яковлев Л. А. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2002. 464 с.
- Тимченко В. М. Эколого-гидрологические исследования водоемов Северо-Западного Причерноморья. Киев: Наук. думка, 1990. 237 с.
- Lepikh, Ya. I., Ivanchenko, I. A., & Budiyanskaya, L. M. (2012). Application of Optics-Geometrical Method in Short-Range Optical Radar. *Radioelectronics and Communications Systems*, 55(2), 82—88. <https://doi.org/10.3103/S0735272712020045>.
- Zhang, D., Xia, F., Yang, Z., Yao, L., & Zhao, W. (2010). Localization technologies for indoor human tracking. *5th International Conference on Future Information Technology*, 21—23 May 2010, Busan, South Korea (pp. 1—6). doi: 10.1109/FUTURUETECH.2010.5482731.

Automated water level monitoring system in open water

Ya. I. Lepikh, Yu. Ya. Bunyakova, Yu. V. Kryshnev, P.O. Snegur, 2019

The article is devoted to the creation of automated systems for monitoring the level of water in open waters, intended primarily to control and prevent floods during natural phenomena. The existing at this time control systems are based on outdated principles and technical means and do not allow timely assessment of the real flooding catastrophic danger.

We have proposed new principles for building a semi-autonomous monitoring system for water basins based on modern achievements of high-level information systems using devices that allow obtaining an on-line accurate water level signal using laser methods, modern signal processing methods and data transmission systems over long distances. The system uses original scientific and technical solutions protected by patents.

For an automated monitoring system with a view to its practical application on a large scale of territories, including those that cover border areas of neighboring states, specific practical data of hydrometeorological conditions over a long period of observations by the relevant emergency services of Ukraine and the Republic of Belarus from measuring stations (meteorological posts) have been used.

Ultimately, the system allows transmitting from laser level gauges via cellular communication channels through measuring modules feed through Internet channels to the base station, followed by visualization and documentation of the water level measurements results, the dynamics of its change, and thus makes timely well-grounded management decisions to prevent flood disasters.

It should be noted that the principles and technical solutions on which the system is based make it possible to use it for other purposes, in particular, as a geographic information system for monitoring fluctuations of the earth's surface over large areas, for tracking the shear processes of mountain ranges, etc.

Key words: flood water level monitoring, open water, automated system, forecasting, wireless communication.

References

- Gimpilevich, Yu. B., Levin, E. A., & Savochkin, D. A. (2013). Current state and development prospects of spatial localization methods based on radio frequency identification technology. *Radiotekhnika*, (173), 69—80 (in Russian).
- Lepikh, Ya. I., Hordiyenko, YU. O., Dzyadevych, S. V., Druzhynyn, A. O., Yevtukh, A. A., Lyenkov, S. V., Melnyk, V. H., Protsenko, V. O., & Romanov, V. O. (2011a). Intelligent measuring systems based on new generation microelectronic sensors. Odessa: Astroprint, 352 p. (in Ukrainian).
- Lepikh, Ya. I., Ivanchenko, I. O., Budiyanska, L. M., & Santoniy, V. I. (2014). Ways to intellectualize the optoelectronic sensor. *Sensorna elektronika i mikrosystemni tekhnolohiyi*, 11(2), 61—64 (in Ukrainian).
- Lepikh, Ya. I., Lyenkov, S. V., Melnyk, V. H., Romanov, V. O., & Protsenko, V. O. (2011). Intelligent measuring channels of sensor systems. *Nauka i oborona*, (2), 36—43 (in Ukrainian).
- Lepikh, Ya. I., Santoniy, V. I., Ivanchenko, I. O., & Budiyanska, L. M. (2012). Creation of a multi-parameter sensor for environmental monitoring of the environment. *Proc. of the II Int. sci.-pract. conf. «Modern Resource-Conserving Technologies. Problems and Prospects» October 1—5, 2012, Ukraine* (pp. 264—268). Odessa: Edition of Odessa National University (in Ukrainian).
- Lepikh, Ya. I., Santoniy, V. I., Yanko, V. V., Budiyanska, L. M., & Ivanchenko, I. O. (2015a). Direct-reading phase method for measuring short distances by optical-electronic sensor in dynamic conditions. *Sensorna elektronika i mikrosystemni tekhnolohiyi*, 12(4), 37—43 (in Ukrainian).
- Lepikh, Ya. I., Smyntyna, V. A., Santoniy, V. I., Iv-

- anchenko, I. O., & Budiyanska, L. M. (2015b). Laser uniform device. Patent of Ukraine No 110140 dated March 18, 2014. Published in Bulletin No 22/2015 of 25.11.2015 (in Ukrainian).
- Mikhaylov, V. N., Mikhaylov, M. V., Morozov, V. N., Kornilov, M. V., & Khudoleev, V. N. (2004). Disastrous flood on the Danube in August 2002. *Meteorologiya i gidrologiya*, (1), 81—88 (in Russian).
- Kalinin, M. Yu., & Obodovskiy, A. G. (Eds.). (2003). *Monitoring, use and management of water resources of the river basin Pripjat*. Minsk: Belsens, 269 p. (in Russian).
- Rozhdestvenina, V. N. (Ed.). (2002). *Optoelectronic environmental monitoring systems*. Moscow: Publ. House of Moscow State Technical University named after N. E. Bauman, 528 p. (in Russian).
- Solonina, A. I., Ulakhovich, D. A., & Yakovlev, L. A. (2002). *Algorithms and processors for digital signal processing*. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 446 p. (in Russian).
- Timchenko, V. M. (1990). *Ecological and hydrological studies of water bodies in the North-Western Black Sea region*. Kiev: Naukova Dumka, 237 p. (in Russian).
- Lepikh, Ya. I., Ivanchenko, I. A., & Budiyanskaya, L. M. (2012). Application of Optics-Geometrical Method in Short-Range Optical Radar. *Radioelectronics and Communications Systems*, 55(2), 82—88. <https://doi.org/10.3103/S0735272712020045>.
- Zhang, D., Xia, F., Yang, Z., Yao, L., & Zhao, W. (2010). Localization technologies for indoor human tracking. *5th International Conference on Future Information Technology*, 21—23 May 2010, Busan, South Korea (pp. 1—6). doi: 10.1109/FUTURUETECH.2010.5482731.