



DOI: [10.71167/uaceg.2026.590123](https://doi.org/10.71167/uaceg.2026.590123)

Получена: 04.11.2025 г.

Приета: 07.01.2026 г.

СЪВРЕМЕННИ ПОДХОДИ ЗА МОНИТОРИНГ НА МОСТОВЕ

С. Бошнаков¹

Ключови думи: мониторинг, обследване, мостове

РЕЗЮМЕ

В настоящата публикация се разглеждат някои от възможностите за мониторинг в реално време на мостовите съоръжения и съответно подходите за оценка на състоянието на мостовите конструкции съгласно приетите нормативни изисквания. Разглеждат се и нормативната база за изпълнението на мониторинг на дадени съоръжения и методите, по които трябва да се извършва.

1. Въведение

За поддръжка и оценка на реалното състояние на дадено мостово съоръжение е необходимо да се извършват регулярни инспекции за окачествяване на неговото състояние. Съответно от събраните данни след анализ на наличното състояние, описаните повреди и дефекти върху конструкцията, е необходимо те да се анализират, да се окачествят количествено и качествено така, че да се планират и предвидят по-нататъшните дейности по съответната конструкция. Това включва необходимостта да се предвидят съответните капитални ремонти или цялостно преизграждане на мостовата конструкция. Това е свързано с множество различни организационни, финансови, икономически и транспортно организационни въпроси. В днешни дни се налага предвидените решения да бъдат така организирани, че да нарушават минимално организацията на пътния трафик. Това налага в някои страни въвеждането на стандарти за извършване на регулярни инспекции на всички мостови конструкции през различни интервали от време [1]. В този стандарт са заложили интервали за основно обследване на

¹ Симеон Бошнаков, гл. ас. д-р инж., кат. „Масивни конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: s.boshnakov_fce@uacg.bg

всяка мостова конструкция от 6 години и междинни обследвания на всеки 3 години, които по обхват и съдържание не са толкова подробни и не изискват такава задълбоченост.

Допълнително са дефинирани посещения и огледи на мостовите конструкции на всеки 6 месеца от специалисти, които да описват евентуално възникнали промени и повреди в мостовите конструкции. Всички тези факти налагат развитието на съвременни подходи и използването на уреди, които безразрушително да дават възможност за подобряване на качеството на конструкцията, на вложените материали, съответно локализиране на възникнали повреди, вследствие на дългогодишната експлоатация.

2. Нормативно дефиниране на мониторинга на съоръжения

В различните държави и икономики мониторингът на съоръженията се реализира по различен начин. Това се определя от състоянието на инфраструктурата, нормативните изисквания и организацията на съответните пътни и железопътни администрации. Така според [2 и 1] под мониторинг се дефинирана регулярното посещение, инспектиране и оценяване на конструкцията количествено и качествено. В [1] се разбират всички регулярни посещения (на всеки 6 месеца) на мостовите съоръжения, както и нормативно дефинираните интервали за инспектиране на мостовете, съответно пълна инспекция на всеки 6 години и непълна на всеки 3 години.

В Германия [2] се дефинират два основни случая на прилагане на автоматизиран мониторинг на съоръжения посредством автоматизирани системи – в особени случаи и за продължителен период от време.

Под извършването на мониторинг в особени случаи се разбира мониторинг, който е необходим за оценяване на качествата на дадена конструкция, която е претърпяла повреди вследствие на дадено произшествие, показала е деформации и дефекти, които застрашават нейната носимоспособност. В този случай след проведено пълно обследване се изготвя специален проект, в който се дефинират граничните стойности на допустимите деформации в конструкцията и се наблюдават и следят посредством автоматизирана система за мониторинг в реално време. Прилага се и при определянето на остатъчния ресурс на дадени мостови съоръжения.

Мониторинг за продължителен период от време е, когато дадено съоръжение се подлага на мониторинг през целия му жизнен цикъл. Това е един допълнителен инструмент, който е неизменна част от поддръжката и експлоатацията на даденото съоръжение.

С развитието на системите за мониторинг в [1] са дефинирани допълнителни специфични изисквания при използването и дефинирането на дигитални близнаци при мониторинг на съоръжения, като вече са и налице някои пилотни (пробни) научно изследователски проекти, които са финансирани и подпомагани от Немската пътна администрация за прилагане на иновативни подходи и техники, които облекчават процеса на оценяване на състоянието на съоръженията количествено и качествено.

3. Класически методи за обследване и изпитване на мостове

В строителната практика мониторингът на конструкции представлява непрекъснат процес на наблюдение, обследване и изпитване на различните типове конструкции, който през годините е многократно прилаган и развиван успоредно с развитието на различни

типове конструкции, изчислителни модели и строителни практики и изпълнение на различни типове конструкции, които изискват своевременно наблюдаване, оценяване по време на самото строително изпълнение, както и натурно изпитване преди въвеждането на някои съоръжения в експлоатация.

Основните подходи, разпространени в световната практика за изпитването на строителните конструкции, са разгледани в [6, 7]. Основно при съществуващи конструкции се използват безразрушителни методи за определяне на свойствата на материалите на дадена конструкция, като при необходимост се калибрират с взимане на съответни пробни образци за определяне на качествата на материалите.

Освен мероприятията, провеждани за оценяване количествено и качествено на вложените материали, е необходимо понякога при едно конструктивно обследване да се провеждат и други типове измервания, като измервания на деформации в конструкцията, вследствие на различни фактори от околната среда, действие на различни външни товари, понякога се правят и контролни геодезически измервания.

Поради различните фактори, влияещи на деформациите и амортизационните процеси, протичащи в конструкцията след събирането на различните типове данни, от особена важност е провеждането на съответния количествен и качествен анализ от проведената инспекция [8].

4. Автоматизирани системи за мониторинг

За осигуряването на безопасна експлоатация на съоръженията при преминаването на недефиниран нормативен товар и за определяне на състоянието на конструкциите, разположени по одобреното трасе на преминаване, в някои държави като Австралия използват автоматизирани системи за контрол на деформациите, които се използват в момента на преминаване на конкретното превозно средство. В някои случаи се удължава периодът за наблюдаване на конструкцията [5].



Фиг. 1. Индуктивни датчици, монтирани на мостова греда [5]

На фиг. 1 е показано примерно разположение на датчици за отчитане на деформации в гредата в реално време, които са покрити със защитна мрежа за предпазване от птици и други видове външни влияния. Избраните измервателни уреди могат да бъдат свързани жично или безжично в зависимост от местоположението на конструкцията и избрания начин за трансфер на данните от измерването.



Фиг. 2. Безжични деформометри – тип индуктивни датчици [9]

На фиг. 2 са показани безжичен индуктивен датчик, комбиниран с безжичен датчик за измерване на промяна в наклона на мостовото съоръжение. Този тип безжичен мониторинг за окачествяване на състоянието на мостовата конструкция е разгледан в [9]. Използваната система за измерване събира данни за възникналите деформации в конструкцията през определен интервал от време, след което изпраща данните към локално записващо устройство посредством безжична връзка към локално устройство или

изпраща данните директно посредством мобилната мрежа към облачно пространство, където в последствие събраните данни се обработват от компетентното лице.

При този вид мониторинг се задава възможност за дефинирането на референтни гранични деформации, при които да се включва автоматичен алармен сигнал при достигане на дадени гранични стойности, при което би могло да се вземат съответните предпазни мерки за ограничаване на деформациите или за отстраняване на причинителите им.

По отношение на дълготрайността и надеждността на използваните измервателни уреди основният проблем е в тяхното надеждно закрепване към конструкцията, както и осигуряването им на дълготрайно автономно хранване с електрическа енергия и осигуряване на надеждния трансфер на данните във времето при различни атмосферни условия и влияния от околната среда. По отношение на автономното хранване датчиците могат да бъдат снабдени с батерии, които издържат около 10 до 15 години [9]. От друга страна са налице и решения за автономно хранване с електричество посредством фотоволтаичен панел на локалните устройства, които събират измерените данни от конструкцията.

Поради различните рискове, с които е свързано използването на автоматизирани системи за мониторинг е добре да се правят контролни измервания посредством конвенционалните геодезически методи за контрол на деформации от автоматизираната система периодично. Така например в [5] се правят контролни измервания на провисванията посредством лазерни измервания към използваната система за мониторинг на мостовото съоръжение.

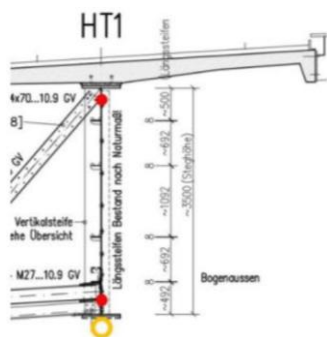
5. Нишковооптични измервания за мониторинг на мостови съоръжения

Нишковооптичните сензори позволяват измерването на широк спектър от физически величини като температура, удължения, или вибрации по дължината на оптичен кабел (vlakно, нишка), което същевременно се използва и за пренос на самата информация [10]. Тези техни качества ги правят доста удобни за използването при мониторинг на мостови съоръжения за различни видове измервания: удължения, премествания, температура, корозия, ускорения, ъглови деформации и др. От друга страна имат доста устойчиво поведение при промяна на температурата на околната среда, както и добра устойчивост на електромагнитни смущения. Това ги прави подходящи за внедряване при мониторинг на дълги мостови конструкции.

При мониторинга на мостове в изследователските проекти на ASFINAG се използват основно нишковооптични измервания тип DFOS (Distributed fiber optic sensing).

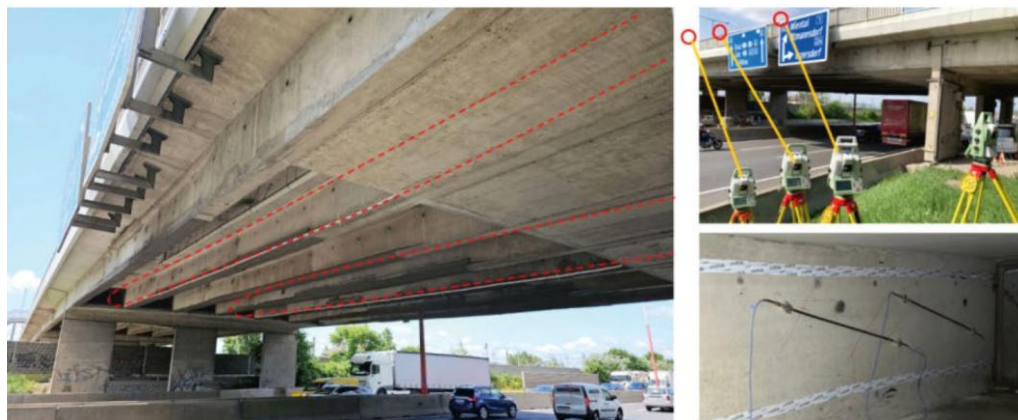
На фиг. 3 е показано разположението на трасетата за монтаж на нишковооптичните кабели и местата на геодезическите призми, които ще се използват за контролни измервания по време на провеждането на натурното изпитване при натоварване на мостовата конструкция. Резултатите, описани в [10], показват доста добро съвпадение между двата начина на измерване на деформациите в конструкцията.

Нишковооптичните снопове могат се слагат и под пътната настилка, така че да измерват и интензивността на трафика, и реалното натоварване, което тя оказва върху конструкцията. Това създава възможност за внедряването им при мониторинг през целия жизнен цикъл на даденото мостово съоръжение.



Фиг. 3. Разположение на нишковооптични измервателни трасета в червено и в оранжево на измервателните призми [10]

На фиг. 4 е показана мостова конструкция във Виена, която е с проблеми още от самото изграждане [10]. В конструкцията са забелязани значителни пукнатини, които налагат поставянето на съоръжението под надзор за окачествяване на постоянното поведение на конструкцията.



Фиг. 4. Разположение на нишковооптични измервателни трасета в червено и в жълто геодезическите измервателни точки [10]

На фиг. 4 се вижда, че освен нишковооптичните снопове, които са монтирани в долния край на всяка греда в червено, също и в горния, подобно на фиг. 3, за отчитане на деформациите. Освен тях са монтирани допълнителни FBG – сензори, които обхващат отделните групи пукнатини (фиг. 4), налице са и сензори за измерване на ускоренията, както и автоматизирани тотални станции, чрез които се правят контролни измервания. Характерното за този проект е, че измерванията се правят под действието на реален трафик.

6. Приложение на сателити при мониторинг на строителни конструкции

С развитието на геодезическите и сателитните технологии се появява и тяхното приложение в наблюдаване на деформации на земната повърхност, което поражда и

началото на някои научноизследователски проекти за приложението им за мониторинг на съоръжения, въпреки че за приложението им при конструкциите се изисква значително по-висока точност. Основно провежданите измервания са базирани на технологията InSAR – Interferometric synthetic aperture radar се развива още от 70-те години на 20-и век, която се използва при фотограметричните заснемания от самолети [11].



Фиг. 5. Сателит в орбита за измерване на деформации [10]

Този метод е внедрен на някои мостови съоръжения в Австрия [10] за наблюдаване на деформациите в конструкциите пробно, като се правят паралелни замервания. В момента за измерванията се използват два европейски сателита, които сканират всяка част от Европа на всеки 6 дни. Това осигурява непрекъснатост на провежданите контролни измервания (фиг. 5).

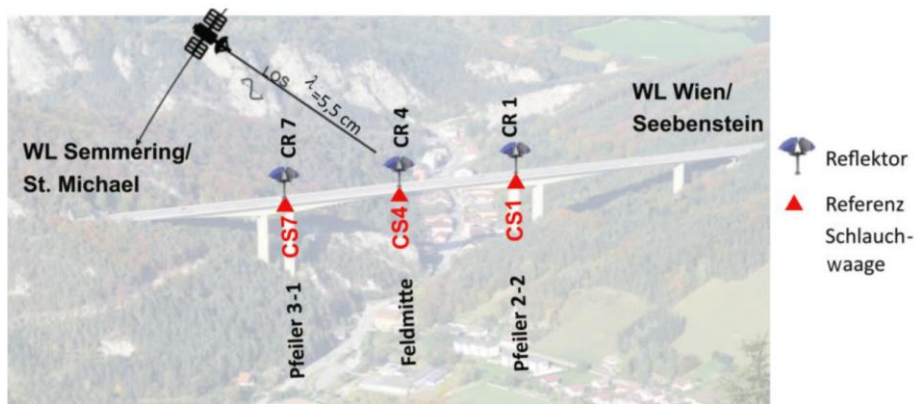
При използването на този метод е важно да се отбележи, че не е необходимо допълнителното монтиране на физически сензори, които да се използват в провежданите измервания. С цел подобряване на сигнала и точността на измерванията върху конструкцията на определени места могат да се монтират ъглови рефлектори (фиг. 6).



Фиг. 6. Ъглов рефлектор [12]

За осигуряване на достоверност на проведените измервания е разработен специален алгоритъм Virtual sensing method [10] от Австрийския технологичен институт, който коригира измерванията на базата на събраните данни за метеорологичните условия по време на проведените замервания. Разработеният метод коригира и температурните деформации, породени в самите конструкции, което е от особена важност при измерване на деформации в конструкциите от външни фактори.

При осъществяването на мониторинг на моста Talübergang Schotwien е внедрена сателитната система за мониторинг заедно с други методи [10], като проведеното изследване е част от научноизследователски проект, финансиран от ASFINAG. При този проект върху моста са монтирани 3 ъглови рефлектора и един на терена с цел подобряване на точността на измерванията (фиг. 7).



Фиг. 7. Разположение на ъглови рефлектори [10]

При направените паралелни измервания е отчетена точност от 1,7 mm, при съпоставка с другите използвани методи, като са отчетени и значителните температурни деформации от -15 mm до +45 mm, които са значителни при поставените критерии за точност на мониторинговата система [10].

С развитието и поэтапното пробно внедряване на сателитните измервания се отварят нови възможности за потенциала на този тип измервания, които биха спестили голям икономически и човешки организационен ресурс за обследване на съществуващата инфраструктура.

7. Заключение

От разгледаните множество особености на различните подходи за мониторинг на съществуващите мостови конструкции се вижда огромният технологичен потенциал и реални възможности за приложение за установяване бързо и качествено на реалното състояние на конструкциите в реално време. Това създава възможности за оптимизиране на процесите на инспектиране, посещение и обследването на съществуващите конструкции, като се създават възможности за анализиране на състоянието на конструкциите в реално време и съответно се създава възможност за своевременното взимане на спешни мерки при възникването на аварийни и предаварийни състояния.

От друга страна се вижда и въвеждането на регламенти при използването на различните типове мониторинг в стандартите и наредбите за съществуващи мостове,

които ясно регламентират начините и средствата, които могат да бъдат използвани [1]. Към момента в България не е наличен съвременен нормативен документ, който да разяснява кои съвременни средства могат да се използват за автоматизиран мониторинг на мостовите съоръжения, както и нормативен документ за третирането на съществуващи мостове, дискутиран в [4, 13 – 15].

БИБЛИОГРАФИЯ

1. DIN 1076: 1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen-Überwachung und Prüfung.

2. *Marzahn, G.* Überarbeitung der DIN 1076 – aktueller Sachstand. Tagungsband 32. Dresdner Brückensymposium. Institut für Massivbau. Technische Universität Dresden. Mai 2023.

3. *Bergmeister, K., Wendner, R.* Monitoring und Strukturidentifikation von Betonbrücken. Beton – Kalender 2010, ISBN 978-3-433-02931-2.

4. *Topurova, I.* Naredba za mostove v Balgaria – neobhodimo dopalnenie kam evrokod. Zaglavie na rabotata. Opisane na iztochnika. Nauchno spisanie: Mehanika, transport, komunikacii, Tom 23, broi 2 2025 g. Statiya № 2654 ISSN 1312-3823 (print), ISSN 2367-6620 (online), <http://www.mtc-aj.com>.

5. *Caprani, C.* Australian bridge loadings and bridge assessment strategies. Tagungsband 33, Dresdner Brückensymposium, Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden, März 2024.

6. *Zilch, K., Weiher, H., Gläser, Chr.* Monitoring im Betonbau. Beton – Kalender 2009, Ernst and Sohn, ISBN 978-3-433-01854-5.

7. *Dimov, D.* Obsledvane i izpitvane na stroitelni konstruksii i mostove. Universitet po arhitektura, stroitelstvo i geodezia, Sofia, 2010.

8. *Bergmeister, K., Wendner, R.* Monitoring und Strukturidentifikation von Betonbrücken. Beton – Kalender 2010, Ernst and Sohn, ISBN 978-3-433-02-931-2.

9. *Rennen, M.* Permanente Brückenüberwachung mittels Wireless Condition Monitoring. Tagungsband 34, Dresdner Brückensymposium, Technische Universität Dresden 19 und 20 März 2025.

10. *Prammer, D., Vorwagner, Al., Lienhart, W., Moser, Th., Leopold, Ph., Boros, V.* Innovative Ansätze für das Bauwerkmonitoring im Netz der ASFINAG. Tagungsband 34, Dresdner Brückensymposium, Technische Universität Dresden, Institut für Massivbau, März 2025.

11. *Graham, L. C.* Synthetic interferometric radar for topographic mapping. Proc. of the IEE 62 (1974) p. 763 – 768, DOI: 101109/PROC. 1974.9516.

12. *Vorwagner, A., Kwapisz, M., Leopold, P., Avian, M., Schlögl, M., Schlafler, S., Gutjahr, K. H.* Senbridge – Sentinel for Bridge. Abschlussbericht, 20.10.2023 (unveröffentlicht).

13. *Topurova, I., Geissler, K., Grasse V.* Principi za ocenavane na sashtestvuvashiti stomaneni mostove. Godishnik na universitet po arhitektura, stroitelstvo i geodezia – UASEG, Sofia, 2006.

14. *Nikolov, P.* Nasoki kam sadarzanieto na naredba za proektirane na mostove v Balgaria. Godishnik na universitet po arhitektura, stroitelstvo i geodezia, Sofia, 2019.

15. *Nikolov, P.* Naredba za proektirane na mostove v Balgaria – edna neosaznata potrebnost. Mejdunarodna yubileina konferencia “80 godinil UACG” 9 – 11 noemvri 2022.

MODERN METHODS IN BRIDGE MONITORING

S. Boshnakov¹

Keywords: monitoring, bridges, structures, inspection

ABSTRACT

The paper describes some of the possibilities for real-time monitoring of bridge facilities and, respectively, approaches to assessing the condition of bridge structures according to the adopted regulatory requirements. The regulatory framework for the implementation of monitoring in existing facilities and the methods by which it should be carried out are also discussed.

¹ Simeon Boshnakov, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: s.boshnakov_fce@uacg.bg