

# Современные возможности и методы обнаружения критических деформаций инженерных сооружений

**В.Г. Авхадеев**

инж., зав. лабораторией<sup>1</sup>  
v.avhadееv@yandex.ru

**А.А. Майоров**

д.т.н. проф., ректор<sup>2</sup>  
rector@miigaik.ru

**П.И. Савостин**

к.т.н., доцент<sup>3</sup>  
psavostin@mail.ru

**К.С. Федоров**

инж., коммерческий директор<sup>2</sup>  
info@prom-terra.ru

**С.С. Мясников**

инж., генеральный директор<sup>3</sup>  
myasnikov82@yandex.ru

<sup>1</sup>МИИГАиК, Москва, Россия

<sup>2</sup>Проектно-исследовательская компания «ПРОМТЕРРА», Москва, Россия

<sup>3</sup>НПО «Лазерные системы», Москва, Россия

**В работе рассмотрены вопросы, связанные с разработкой современных высокоточных средств измерений, предназначенных для мониторинга объектов строительства. Отмечены преимущества и недостатки существующих методов контроля за состоянием объектов строительства. Выделены аспекты проблемы, связанной с необходимостью применения стационарных систем наблюдения за пространственным положением инженерных объектов.**

## Материалы и методы

Измерения производятся относительно опорных направлений создаваемых лазерным излучением, сформированным специальными оптическими компонентами. Регистрация смещений производится относительно центра сканирования лазерного излучения задающего опорное направление с помощью отраженных лазерных пучков в сторону импульсных анализаторов, жестко связанных с измеряемым объектом. При проведении измерений базовое направление, определяемое центром сканирования, сориентировано относительно центров анализаторов первой и последней измерительной марки с требуемой точностью.

## Ключевые слова

мониторинг инженерных объектов, лазерные измерительные системы, критические деформации сооружений, пространственные координаты точек объектов, геодезические измерения

Создание новых систем и комплексов, способных в автоматическом режиме контролировать деформации объектов гражданского и промышленного строительства требует отдельного и специального подхода к решению задач по контролю за положением таких сооружений.

Наряду с традиционно применяемыми бесконтактными методами контроля за состоянием инженерных сооружений, например с помощью современных высокоточных геодезических приборов: (тахеометров, электронных нивелиров, наземных лазерных сканеров и др.), необходимы приборы и системы, позволяющие в автоматическом режиме производить длительные и непрерывные измерения положения объектов, таких как: сооружения тоннельного типа (метрополитен, автодорожные тоннели), мостовые конструкции (эстакады, монорельсовые дороги), а так же сооружений вертикальной застройки.

Новые автоматизированные системы контроля необходимы для своевременного обнаружения критических деформаций строительных объектов и оперативного оповещения служб их эксплуатации.

Коллективом авторов Московского Государственного Университета Геодезии и Картографии (МИИГАиК) с 2005 года осуществляется научно-производственная деятельность по созданию высокоточных измерительных систем, способных производить непрерывный контроль за состоянием инженерных сооружений в автоматическом режиме измерений, с передачей измерительной информации в центр мониторинга объектов.

На сегодняшний день разработана и опробована автоматизированная лазерная измерительная сканирующая система (ЛИСС) (в классификации оптико-электронных средств измерений), предназначенная для длительных и непрерывных измерений пространственных координат точек поверхностей инженерных объектов.

Система относится к средствам измерений

стационарного базирования и позволяет производить равноточные створные измерения по двум координатам (Y — осадка грунта, и X — боковое давление грунта) на участке контролируемого сооружения, в ручном и автоматическом режимах, с задаваемым интервалом времени измерений. ЛИСС не требует участия исполнителя при измерениях, что исключает влияние человеческого фактора и избавляет от случайных ошибок. Управление работой лазерной измерительной сканирующей системы производится дистанционно от удаленного компьютера.

Отличительными особенностями Лазерной измерительной сканирующей системы являются:

- высокая точность измерений по двум координатам в нескольких точках одновременно;
- возможность дистанционного управления процессами измерений и обработки результатов;
- максимальная среднеквадратическая приборная погрешность при измерениях линейных смещений — 0,1–0,05 мм (в зависимости от условий применения)
- время одиночных измерений — 1,5 секунды;
- блочный принцип построения, позволяющий перестраивать систему для решения различных инженерных задач.

Один из конструктивных вариантов ЛИСС с возможностью применения в разных областях строительства и эксплуатации для инженерных сооружений показан на рис. 1, 2, 3.

С 2011 года работы по проектированию, созданию макетных образцов ЛИСС и внедрению в геодезическое производство проводятся совместно с НПО «Лазерные системы» и ООО «Промтерра».

## Итоги

Автоматизация процессов управления работой системы позволяет надеяться на скорое завершение всей приборной части измерительного комплекса и успешное внедрение в те отрасли



Рис.1 — Функциональная блок — схема ЛИСС

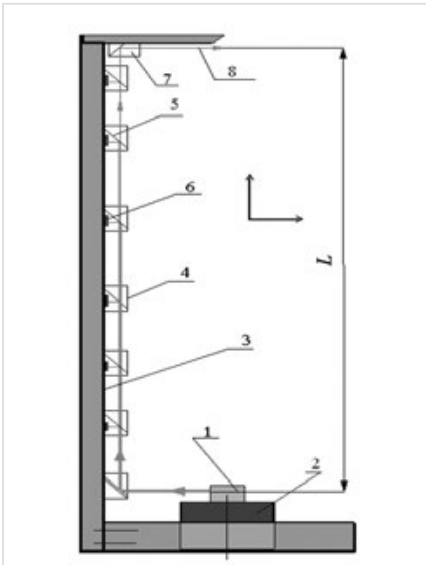


Рис. 2

народного хозяйства, где требуются высокоточные измерения при определении критических деформаций инженерных сооружений.

#### Выводы

Проведенные метрологические исследования и практические эксперименты, по мнению авторов, позволяют утверждать, что система ЛИСС способна осуществлять непрерывный мониторинг за состоянием сооружений в обозначенных пределах контроля за критическими деформациями.

#### Список используемой литературы:

1. Авхаев В.Г., Жилкин А.М., Власенко Е.П., Чугреев И.Г. Развитие методов и средств измерений отклонений от прямолинейности объектов. М.: Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2008. №1. С. 226–231.
2. Авхаев В.Г. Предварительные результаты исследования пластмассовых пленок, используемых в качестве зеркал с частичным отражением. М.: Геодезия и аэрофотосъемка. 2008. № 6. С. 41–43.
3. Жилкин А.М., Авхаев В.Г., Чугреев И.Г., Савостин П.И., Федоров К.С. Исследование, разработка и подготовка к коммерческой реализации лазерной

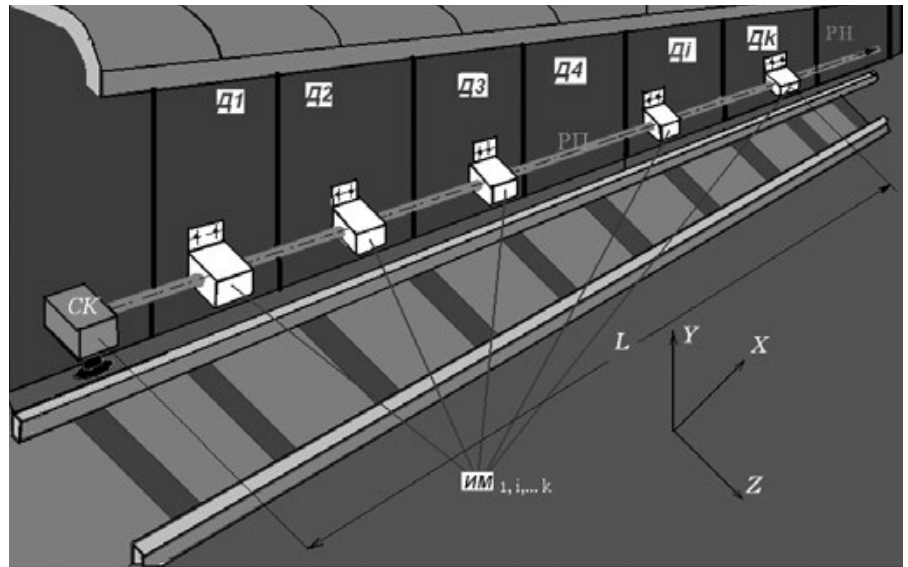


Рис. 3

- прецизионной измерительной системы. Сборник статей по итогам научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, посвященной 229-летию МИИГАиК. М.: 2008. Выпуск 1. С. 65–67.
4. Жилкин А.М., Авхаев В.Г., Чугреев И.Г., Степанов В.В. Лазерное устройство для измерения прямолинейности расположения искусственных и естественных объектов. Патент №2359225 от 20.06.2009, приоритет изобретения 09.08.07.
  5. Жилкин А.М., Авхаев В.Г., Можаров Г.А., Чугреев И.Г. и др. Лазерное устройство для измерения отклонений отдельных участков поверхностей объектов от референтного направления. Патент №2359224 от 20.06.2009, приоритет изобретения 09.08.07.
  6. Жилкин А.М., Авхаев В.Г., Чугреев И.Г. и др. Лазерное устройство для измерения нестабильности пространственного положения объектов и определения отклонения их формы от прямолинейности. Патент №2366894 от 10.09.2009. Приоритет изобретения 10.09.07.
  7. Жилкин А.М., Авхаев В.Г., Чугреев И.Г., и др. Фотоэлектрическое устройство для измерения отклонений от прямолинейности расположения объектов и их

геометрических форм. Патент № 2366895 от 10.09.2009. Приоритет изобретения 14.11.07.

8. Авхаев В.Г., Жилкин А.М., Свешникова И.С., Драковская Н.Л. Оптическое устройство для формирования лазерного излучения в виде квазипараллельного пучка. Патент (два объекта защиты) №2393516 от 27.06.2010. Приоритет изобретения 09.08.2007.
9. Чугреев И.Г., Жилкин А.М., Авхаев В.Г. и др. Исследование и разработка лазерной системы для измерений поперечных смещений инженерных сооружений. Доклад. 5-ая международная выставка и научный конгресс ГЕО-СИБИРЬ-2009. Новосибирск: 24 апреля 2009. Тезисы. 92 с.
10. Авхаев В.Г., Можаров Г.А., Былинушкин К.Н., Панов А.А., Попиченко В.А. Вычисление потока излучения лазерного пучка, прошедшего через прямоугольное отверстие в плоском непрозрачном экране. Известия вузов. № 5. МИИГАиК. 2011. С. 103–106.
11. Авхаев В.Г., Можаров Г.А., Панов А.А., Былинушкин К.Н. Анализ геометрических параметров лазерных пучков, определяющих измерительный диапазон зеркальной сканирующей системы. М.: МИИГАиК, Известия вузов. 2012. № 3. С. 111–114.

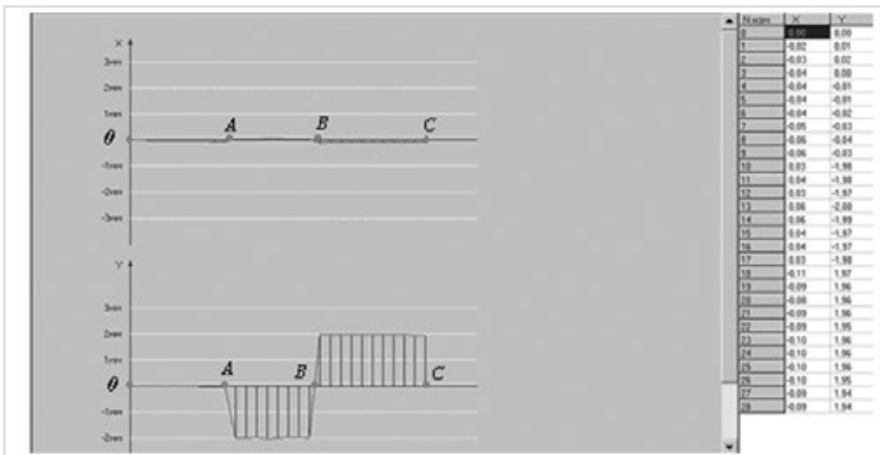


Рис. 4 – Лабораторные исследования состояния ИМ при смещении на  $\pm 2$ мм по оси Y  
Верхняя часть графика состояние ИМ (отсутствие смещения по оси X)  
Нижняя часть графика: O – A (8мин в стабильном положении)  
A – B (8мин интервалом 1мин при смещении по оси Y на -2мм)  
B – C (10мин с интервалом 1мин при смещении по оси Y на +4мм)



## Modern possibilities and methods for the detection of critical deformation of engineering structures

UDC 620.1+331.45

### Authors:

**Vladimir G. Avhadeev** — eng., head. laboratory<sup>1</sup>; [v\\_ahadeev@yandex.ru](mailto:v_ahadeev@yandex.ru)

**Andrey A. Mayorov** — dr. prof., rector<sup>1</sup>; [rector@miigaik.ru](mailto:rector@miigaik.ru)

**Petr I. Savostin** — ph.d., associate professor<sup>2</sup>; [psavostin@mail.ru](mailto:psavostin@mail.ru)

**Konstantin S. Fedorov** — eng., commercial director<sup>2</sup>; [info@prom-terra.ru](mailto:info@prom-terra.ru)

**Sergey S. Myasnikov** — eng., general director<sup>3</sup>; [myasnikov82@yandex.ru](mailto:myasnikov82@yandex.ru)

<sup>1</sup>MIIGAİK, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Design Company "PROMTERRA", Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>NGOs "Laser systems", Moscow, Russian Federation

### Abstract

The paper discusses issues related to the development of modern high-precision measuring instruments for monitoring construction projects.

The advantages and disadvantages of the existing methods of monitoring the state of the construction projects.

Isolated aspects of the problem of having to use stationary monitoring systems engineering spatial position of objects.

### Materials and methods

The measurements are made relative to the reference lines created by laser radiation generated by special optical components.

Register offsets produced relative to the center of the laser scanning radiation of a master reference direction by the reflected laser beam in the direction of the pulse analyzer, rigidly attached to the object to be measured.

When measured basic direction defined by the center scan aligned to the centers of the first and last analyzers measuring brand with the required accuracy.

### Results

Automation of processes controlling the operation of the system allows us to hope for a speedy completion of the entire instrument of measuring complex and successful implementation in those sectors of the economy

requiring highly accurate in determining the critical deformation of engineering structures.

### Conclusions

Monitoring of engineering objects, laser measuring systems, the critical deformation structures, spatial coordinates of object points, geodetic measurements.

### Keywords

Metrological studies and hands-on experiments, according to the authors, suggest that the system is capable of LISS to continuously monitor the state of the buildings in designated within the control of the critical strains.

### References

- Avhadeev V.G., Jilkin A.M., Vlasenko E.P., Chugreev I.G. *Razvitie metodov i sredstv izmereniy otkloneniy ot pryamolineynosti ob"ektov* [The development of methods and means of measuring deviations from linearity of objects]. Moscow: *Trans. Surveying and aerial photography*, 2008, issue 1, pp. 226–231.
- Avhadeev V.G. *Predvaritel'nye rezul'taty issledovaniya plastmassovykh plenok, ispolz'uemykh v kachestve zerkal s chastichnym otrazheniem* [Preliminary results of a study of plastic films ispolzuemykh as a mirror with a partial reflection]. Moscow: *Geodesy and aerial photography*, 2008, issue 6, pp. 41–43.
- Jilkin A.M., Avhadeev V.G., Chugreev I.G., Savostin P.I., Fedorov K.S. *Issledovanie, razrabotka i podgotovka k kommercheskoy realizatsii lazernoy pretsizionnoy izmeritel'noy sistemy*. [Research, development and preparation for the commercialization of precision laser measurement system. Collection of articles on the results of scientific and technical conference of the teaching staff, dedicated to 229-anniversary MIIGAİK]. Moscow: 2008, issue 1, pp. 65–67.
- Jilkin A.M., Avhadeev V.G., Chugreev I.G., Stepanov V.V. *Lazernoe ustroystvo dlya izmereniya nepryamolineynosti raspolozheniya iskusstvennykh i estestvennykh ob"ektov* [Laser measuring apparatus misalignment location of natural and artificial objects]. Patent 2359225 from 20.06.2009, priority of invention 09.08.07.
- Jilkin A.M., Avhadeev V.G., Mozharov G.A., Chugreev I.G. and other. *Lazernoe ustroystvo dlya izmereniya otkloneniy otel'nykh uchastkov poverkhnostey ob"ektov ot referentnogo napravleniya* [Laser device for measuring variations of selected parts of objects from the reference direction]. Patent 2359224 from 20.06.2009, the priority of invention 09.08.07.
- Jilkin A.M., Avhadeev V.G., Chugreev I.G. *Lazernoe ustroystvo dlya izmereniya nestabil'nosti prostranstvennogo polozeniya ob"ektov i opredeleniya otkloneniya ikh formy ot pryamolineynosti* [Other laser measuring device instability of the spatial position of objects and determine their shape deviation from linearity]. Patent 2366894 from 10.09.2009. Priority of invention 10.09.07.
- Jilkin A.M., Avhadeev V.G., Chugreev I.G., etc. *Fotoelektricheskoe ustroystvo dlya izmereniya otkloneniy ot pryamolineynosti raspolozheniya ob"ektov i ikh geometricheskikh form* [Photoelectric device to measure the deviations from linearity of the location of objects and their geometric forms]. Patent 2366895 from 10.09.2009. Priority of invention 14.11.07.
- Avhadeev V.G., Jilkin A.M., Sveshnikov I.S., Drakovskaya N.L. *Opticheskoe ustroystvo dlya formirovaniya lazernogo izlucheniya v vide kvaziparallel'nogo puchka* [An optical device for generating the laser radiation in the form of a quasi-parallel beam]. Patent (two objects of protection) 2393516 from 27.06.2010. Priority of invention 09.08.2007.
- Chugreev I.G., Jilkin A.M., Avhadeev V.G. and other. *Issledovanie i razrabotka lazernoy sistemy dlya izmereniy poperechnykh smeshcheniy inzhenernykh sooruzheniy. Doklad. 5-aya mezhdunarodnaya vystavka i nauchnyy kongress GEO-SIBIR-2009* [Research and development of laser systems for the measurement of transverse displacements of engineering structures. The report. 5th International Exhibition and Scientific Congress of the GEO-Siberia-2009]. Novosibirsk: 2009, April 24, Abstracts, 92 p.
- Avhadeev V.G., Mozharov G.A., Bylinushkin K.N., Panov A.A., Popichenko V.A. *Vychislenie potoka izlucheniya lazernogo puchka, proshedshego cherez pryamougol'noe otverstie v ploskom neprozrachnom ekrane* [The calculation of the flow of the laser beam passing through a rectangular opening in a flat opaque screen]. Proceedings of Higher Education Issue 5, MIIGAİK, 2011, pp. 103–106.
- Avhadeev V.G., Mozharov G.A., Panov A.A., Bylinushkin K.N. *Analiz geometricheskikh parametrov lazernykh puchkov, opredelyayushchikh izmeritel'nyy diapazon zerkal'noy skaniruyushchey sistemy* [Analysis of the geometric parameters of the laser beams that define the span mirror scanning system]. Moscow: *MIIGAİK, Trans.*, 2012, issue 3, pp. 111–114.