

## USING A SPATIAL LOCATION DEVICE FOR EXPRESS DIAGNOSTICS OF CURRENT MECHANICAL PROPERTIES OF METAL STRUCTURES

S. V. Smirnov, E. N. Perunov\*, D. A. Konovalov, S. V. Vyskrebentsev

*Institute of Engineering Science, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 34 Komsomolskaya st., Ekaterinburg, Russian Federation*

\*Corresponding author. E-mail: [perunovmail@mail.ru](mailto:perunovmail@mail.ru); address for correspondence: 34 Komsomolskaya st., Ekaterinburg, Russian Federation. Tel.: +7(343)375 35 87

The paper surveys a device for the spatial location of portable hardness meters, preparation and visual testing tools on a surface to be tested in order to study mechanical characteristics in situ. The design of the spatial location device is described. An experiment is shown to exemplify the application of the spatial location device incorporated in an “Indentor” mobile automated measuring-computing complex (MCC) implementing a direct method of hardness testing – the in-situ method of kinetic indentation into objects to be tested.

*Keywords: express diagnostics, nondestructive testing, service life extension, conventional yield strength, hardness HVh.*

**DOI:** 10.17804/2410-9908.2016.4.089-094

### References

1. Konovalov D.A., Smirnov S.V., Konovalov A.V. Determination of metal strain-hardening curves from conical-indenter impression results. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2008, vol. 44, iss. 12, pp. 847–853. DOI: 10.1134/S1061830908120073.
2. Shabanov V.M. Express diagnostics of the health of metals in the structural components of APS by kinetic indentation. *Internet journal “Tekhnologii Tekhnosfernoy Bezopasnosti”*, 2013, iss. 3 (49). Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb>. (In Russian).
3. Bulychev S.I., Alekhin V.P. *Ispytanie materialov nepreryvnym vdavlivaniem indentora* [Material Testing by Continuous Indentation]. M., Mashinostroenie Publ., 1990, 224 p. (In Russian).
4. Konovalov D.A., Golubkova I.A., Smirnov S.V. Determining the Strength Properties of Individual Layers of Strained Laminated Composites by Kinetic Indentation. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2011, vol. 47, iss. 12, pp. 852–857. DOI: 10.1134/S1061830911120072.
5. Bakirov M.B., Fadeev A.N., Potapov V.V. *Static manual durometer*, RF Patent 64778, 2007. (In Russian).
6. Perunov E.N., Vyskrebentsev S.V. *A device for spatial location of portable durometers and tools for preparation and visual inspection on a test surface for studying mechanical properties in-situ*, RF Patent 146273, 2014. (In Russian).
7. Perunov E.N. Measurement-Computation complexes for nondestructive testing of objects by kinetic indentation. In: *Tezisy dokladov 4 rossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii “Resurs i diagnostika materialov i konstruktsyy* [Life and Diagnostics of Materials and Structures: Proceedings of the 4<sup>th</sup> Russian Scientific and Technical Conference]. Ekaterinburg, IMACH UrO RAN Publ., 2009, pp. 176. (In Russian).

**Подана в журнал:** 19.08.2016  
**УДК** 620.17.051:620.1-1/-9:620.179.1:620.178.15  
**DOI:** 10.17804/2410-9908.2016.4.089-094

## **ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВА ПРОСТРАНСТВЕННОГО БАЗИРОВАНИЯ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ ТЕКУЩИХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ**

С. В. Смирнов, Е. Н. Перунов \*, Д. А. Коновалов, С. В. Выскребенцев

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, ул. Комсомольская, 34, Екатеринбург, Российская Федерация*

\*Ответственный автор. Электронная почта: [perunovmail@mail.ru](mailto:perunovmail@mail.ru); Адрес для переписки: Россия, Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34; Телефон: +7 (343) 375-35-87

В работе сделан обзор устройства пространственного базирования портативных твердомеров, инструментов подготовки и визуального контроля на испытываемой поверхности для исследования механических характеристик на объекте. Описана конструкция устройства пространственного базирования.

Показан опыт применения устройства пространственного базирования в составе мобильного автоматизированного измерительно-вычислительного комплекса (ИВК) «Индентор», реализующего прямой метод испытания по твердости – метод кинетического индентирования непосредственно на объектах контроля.

*Ключевые слова:* экспресс-диагностика, неразрушающий контроль, продление сроков эксплуатации, условный предел текучести, твердость HVh.

### **1. Введение**

В современном мире, когда замена находящихся в эксплуатации конструкций экономически нецелесообразна, а часто и просто невозможна (например, магистральный трубопровод, опоры мостов), одной из актуальных проблем машиностроения, газовой и нефтяной промышленности является продление сроков эксплуатации металлоконструкций. Обоснованное продление сроков их эксплуатации требует знания фактического состояния структуры металла, из которого они изготовлены. Помимо продления срока эксплуатации, не менее остро стоит вопрос плановых периодических проверок металлоконструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах: экстремально низкие температуры, повышенный радиационный фон, морской туман и т.п. Решение этих проблем связано с развитием и применением статистических методов и средств исследований состояний и диагностики материалов конструкций [1, 2].

Особенно важны эти методы при исследовании конструкций и объектов в эксплуатации, когда вырезание образца нецелесообразно по экономическим соображениям или вовсе невозможно. Для определения прочностных характеристик широко используются методы локального упруго-пластического деформирования материала посредством вдавливания индентора определенной формы [3, 4].

Существует ряд инструментов для оперативного определения механических свойств материала непосредственно на объектах контроля [2, 5, 6]. Общим недостатком указанных инструментов является отсутствие [6] (или как в работе [2] недостаточные функциональные возможности) устройств базирования на испытываемый объект, позволяющих проводить серию измерений на контрольной поверхности.

Устройство пространственной ориентации [7] позволяет решить эту проблему. Изначально разработанное как один из инструментов в составе мобильного измерительно-вычислительного комплекса «Индентор» (ИВК «Индентор») [8] устройство пространствен-

ной ориентации стало унифицированным инструментом, позволяющим расширить возможности стандартных инструментов измерения и контроля.

## 2. Конструкция

Мобильный ИВК «Индентор» состоит из зонда-преобразователя, устройства пространственной ориентации (рис. 1) и автоматизированного рабочего места (АРМ ИВК «Индентор») (рис. 2). Максимальная испытательная нагрузка составляет 250 Н с разрешением 0,1 Н. Максимальное фиксируемое перемещение индентора составляет 200 мкм с пределами допускаемой погрешности на участках диапазона измерений  $\pm 0,6\%$ .

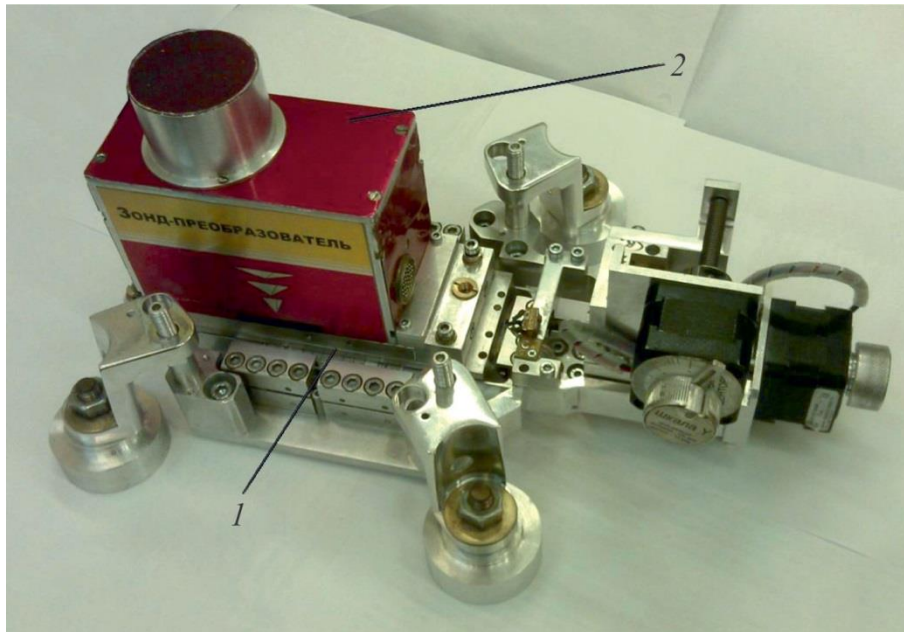


Рис. 1. Устройство пространственной ориентации:  
 1 – с магнитной системой удержания; 2 – зонд-преобразователь



Рис. 2. Автоматизированное рабочее место АРМ ИВК «Индентор» на объекте

Устройство пространственного базирования является универсальным и позволяет обеспечивать базирование портативных твердомеров и их ориентацию на испытуемой поверхности таким образом, что индентор располагается нормально к поверхности измерений, а также обеспечивает возможность проведения серии измерений на одной контрольной поверхности (Рис. 3). Размер поверхности, которую может охватить устройство, составляет 30×6 мм.

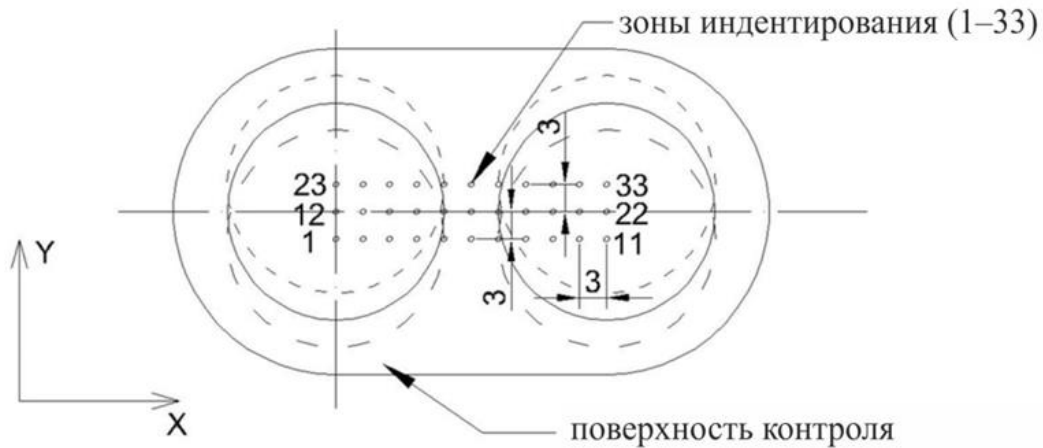


Рис. 3. Схема измерений на контрольной поверхности

Устройство пространственной ориентации представляет собой двухкоординатный стол, состоящий из основания, верхней и нижней каретки. Основание оснащено механизмом удержания на испытуемом объекте, представляющим 4 стойки, жестко закрепленные на основании таким образом, что центр прямой, проведенной между центральными осями двух любых не соседних стоек, находится в центре основания и элементами крепления. Конструкцией предусмотрены три вида системы удержания: магнитная, пневматическая и механическая, позволяющие проводить испытания на широком спектре объектов различной формы и размеров.

Каждая из кареток снабжена узлом движения, включающим электродвигатель и винтовую кинематическую пару. Узлы движения обеспечивают перемещение кареток в двух взаимно перпендикулярных направлениях в плоскости, параллельной основанию. Верхняя каретка имеет установочную поверхность, позволяющую крепление, например зонда преобразователя. Конструкция обеспечивает возможность управления как в автоматическом, так и в ручном режимах. Для предотвращения критических перемещений кареток предусмотрены концевые выключатели, обеспечивающие экстренно остановку устройства.

### 3. Опыт применения

Разработанный ИВК «Индентор» востребован во многих отраслях промышленности – от ВПК до строительства и нефте-газовой отрасли.

С его помощью были исследованы текущие механические свойства одного из ригелей металлического каркаса строящегося здания. Проведена оценка действующих напряжений на исследованных участках (Рис. 4).

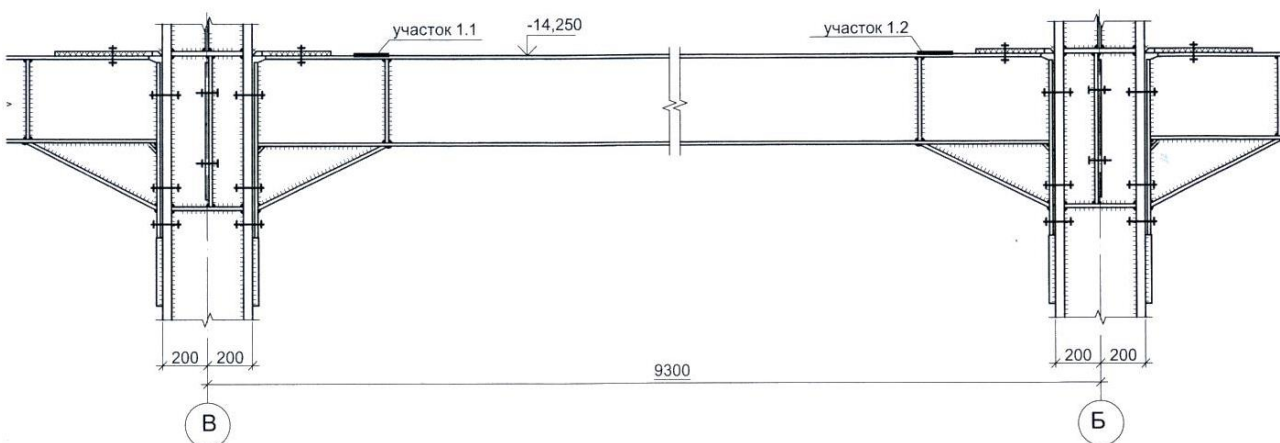


Рис. 4. Ригель. Схема расположения исследованных участков



Была проведена оценка текущего значения условного предела текучести хребтовой рамы одной из серии вагонов-цистерн модели 15-147, которые были изготовлены одной партией в 1989 г, законсервированы и не эксплуатировались. Механические свойства материала исследованной хребтовой рамы свидетельствуют об отсутствии изменений в течение срока хранения. В результате обработки диаграмм вдавливания алмазных пирамидальных наконечников, полученных с помощью ИВК «Индентор», по методике [1] было получено значение условного предела текучести  $\sigma_{0,2} = 400$  МПа. Справочное значение по ГОСТ 19282–73  $\sigma_{0,2} = 380$  МПа. На основании проведенных исследований хребтовой рамы был сделан вывод об отсутствии деградации прочностных свойств в исследуемой области контроля.

Комплекс использовался для исследования текущих механических свойств элементов конструкции треугольной рамы из сплава ВМД-10. Было определено распределение предела текучести и твердости HVh по методу невозстановленного отпечатка (по ГОСТ 9450-76) в контрольных областях (рис. 5). Средняя величина  $\sigma_{0,2}$  по всем контрольным поверхностям составила 157 МПа, что практически совпало со средним значением  $\sigma_{0,2} = 154$  МПа, полученным при растяжении.

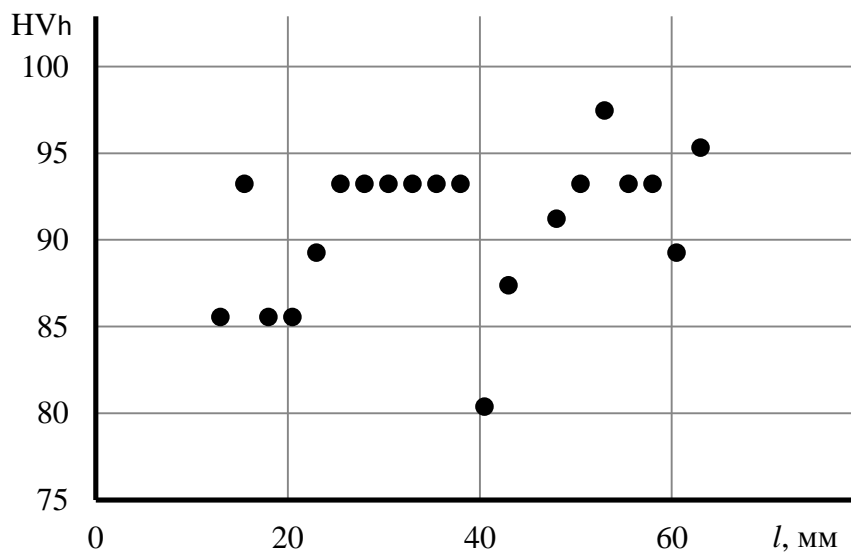


Рис. 5. Зависимость значения твердости HVh вдоль одной из контрольных областей

Минимальное значение условного предела текучести  $\sigma_{0,2min} = 130$  МПа, максимальное значение  $\sigma_{0,2max} = 185$  МПа. Наблюдается значительный разброс в значениях условного предела текучести. Это может быть связано, помимо инструментальных и расчетных погрешностей, с локальной неоднородностью структуры и состава материала и наличием внутренних остаточных напряжений.

Полученные результаты были использованы как исходные данные в конечно-элементном моделировании для прогнозирования срока службы изделия при длительной эксплуатации сверх гарантийного срока.

#### 4. Заключение

Использование устройства пространственного базирования в составе мобильного комплекса ИВК «Индентор» значительно расширило его функциональные возможности:

- увеличение количества кривых нагружения, что позволяет ввести статистическую обработку и тем самым исключить случайную составляющую погрешности из результирующей погрешности;
- сокращение в разы времени снятия серии диаграмм вдавливания.

Значения условного предела текучести по методу невосстановленного отпечатка (по ГОСТ 9450-76), полученные с использованием мобильного комплекса ИВК «Индентор» хорошо соотносятся со значениями характеристик, полученных при классическом испытании на разрыв. Комплекс доказал свою высокую эффективность при проведении работ по оценке фактических механических свойств металлоконструкций. Расширенные за счет устройства пространственного базирования функциональные возможности делают мобильный ИВК универсальным инструментом при проведении механических испытаний металлоконструкций различных форм и размеров.

### Благодарность

Работа выполнена по конкурсному проекту № 15-10-1-22 конкурса УрО РАН

### Литература

1. Konovalov D. A., Smirnov S. V., Konovalov A. V. Determination of metal strain-hardening curves from conical-indenter impression results // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2008. – Т. 44, вып. 12. – С. 847–853. – DOI: 10.1134/S1061830908120073.
2. Шабанов В. М. Экспресс-диагностика технического состояния металлов элементов конструкций АЭС методом кинетического индентирования // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». – 2013. – Вып. 3 (49). – URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
3. Булычев С. И., Алехин В. П. Испытание материалов непрерывным вдавливанием индентора. – М. : Машиностроение, 1990. – 224 с.
4. Konovalov D. A., Golubkova I. A., Smirnov S. V. Determining the Strength Properties of Individual Layers of Strained Laminated Composites by Kinetic Indentation // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2011. – Т. 47, вып. 12. – С. 852–857. – DOI: 10.1134/S1061830911120072.
5. Ручной статический твердомер : патент 64778 Рос. Федерация / Бакиров М. Б., Фадеев А. Н., Потапов В. В., ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций» (ОАО «ВНИИАЭС»). – № 2007100372/22 ; заявл. 09.01.2007 ; опубл. 10.07.2007, Бюл. № 19.
6. Устройство пространственного базирования портативных твердомеров, инструментов подготовки и визуального контроля на испытываемой поверхности для исследования механических характеристик на объекте : патент 146273 Рос. Федерация / Перунов Е. Н., Выскребенцев С. В., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук. – № 2014105401/28 ; заявл. 13.02.2014 ; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 28.
7. Перунов Е. Н. Измерительно-вычислительные комплексы неразрушающего контроля объектов методом кинетического индентирования // IV Российская научно-техническая конференция «Ресурс и диагностика материалов и конструкций», Екатеринбург, 26–28 мая 2009 г. : тезисы докладов. – Екатеринбург : ИМАШ УрО РАН, 2009. – С. 176.