

*Б. Мухаметулы, Д. П. Козленко, Е. А. Кенжин, С. Е. Кичанов,
Е. В. Лукин, А. А. Шаймерденов, К. М. Назаров, Б. Н. Савенко*

Первые научные результаты, полученные на экспериментальной установке для нейтронной радиографии и томографии на реакторе ВВР-К

С учетом актуальности и широких прикладных возможностей методов нейтронной радиографии и томографии [1, 2] три года назад была сформирована совместная рабочая группа из сотрудников Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка ОИЯИ, имеющих достаточный опыт в создании нейтронных установок [3, 4], и сотрудников Института ядерной физики Министерства энергетики Республики Казахстан (Алма-Ата) по созданию специализированной научной установки для исследований с помощью нейтронной радиографии и томографии на базе реактора ВВР-К (ИЯФ, Алма-Ата, Республика Казахстан) [5, 6]. За сравнительно короткий срок были выполнены работы

по проектированию новой установки, заказу и приобретению специального оборудования и материалов, размещению основных компонентов установки и элементов биологической защиты в экспериментальном зале реактора ВВР-К.

14–15 ноября 2019 г. в Институте ядерной физики состоялся семинар, посвященный открытию установки нейтронной радиографии и томографии. В работе семинара приняли участие ученые и специалисты ЛНФ, НИЦ «Курчатовский институт» (Москва), Института ядерной физики и Казахского национального университета им. аль-Фараби (Алма-Ата). В рамках семинара состоялась видеоконференция с представителем отде-

*B. Muhametuly, D. P. Kozlenko, E. A. Kenzhin, S. E. Kichanov,
E. V. Lukin, A. A. Shaimerdenov, K. M. Nazarov, B. N. Savenko*

The First Scientific Results Obtained Using the Experimental Setup for Neutron Radiography and Tomography at the WWR-K Reactor

In view of the relevance and wide application possibilities of neutron radiography and tomography methods [1, 2], three years ago a joint working group was organized, consisting of specialists of the Frank Laboratory of Neutron Physics of the Joint Institute for Nuclear Research (FLNP, JINR), with sufficient experience in the development of neutron facilities [3, 4], and employees of the Institute of Nuclear Physics of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Republic of Kazakhstan) in order to develop and construct a specialized scientific facility for research using neutron radiography and tomography at the WWR-K reactor (INP, Almaty, Republic of Kazakhstan)

[5, 6]. In a relatively short period of time, work was carried out to design it, order and purchase special equipment and materials, install its main components and biological shielding in the experimental hall of the WWR-K reactor.

On 14–15 November 2019, the Institute of Nuclear Physics held a seminar dedicated to the launch of this new neutron radiography and tomography facility. The seminar was attended by scientists and specialists from JINR FLNP, the National Research Centre “Kurchatov Institute” (Moscow), the Institute of Nuclear Physics (Almaty), and the Al-Farabi Kazakh National University (Almaty). Within the framework of the seminar, a videoconference

ла физических и химических наук МАГАТЭ Н. П. Баррадасом, который поздравил сотрудников РГП ИЯФ и ЛНФ ОИЯИ с таким важным научно-техническим достижением и заверил, что новая установка на реакторе ВВР-К будет включена в международную базу установок по нейтронной радиографии и томографии.

Установка нейтронной радиографии и томографии расположена на горизонтальном канале № 1 исследовательского реактора ВВР-К (см. рис. 1) и в настоящее время является единственной установкой такого рода в Республике Казахстан. На установке нейтронный пучок размерами до 200 мм формируется коллиматорной системой и вакуумированной трубой для уменьшения потерь в интенсивности из-за рассеяния нейтронов на воздухе. Характеристический параметр L/D [2, 3] определяется отношением расстояния L между вход-

ной апертурой коллиматорной системы и положением исследуемого образца к диаметру входной апертуры коллиматоров D . Соответствующие значения для созданной установки составляют $L = 7$ м, $D = 2$ см, что отвечает значению параметра $L/D = 350$. Это значение находится на уровне подобных установок в других мировых нейтронных центрах [1]. Для получения нейтронных изображений используется специальный детектор на двухзеркальной оптической схеме, разработанной компанией SOL Instruments (Республика Белоруссия).

Нейтронное изображение от прошедшего через исследуемый объект нейтронного пучка трансформируется в световой сигнал с помощью сцинтилляционного экрана, который фокусируется объективом с переменным фокусным расстоянием на CCD-матрицу

Алма-Ата (Казахстан), 14–15 ноября.

Участники семинара по открытию установки нейтронной радиографии и томографии на реакторе ВВР-К



Almaty (Kazakhstan), 14–15 November. The participants of a seminar dedicated to the opening of a neutron radiography and tomography facility at the WWR-K reactor

was held with the representative of the IAEA Division of Physical and Chemical Sciences Nuno Pessoa Barradas, who congratulated the employees of INP and JINR FLNP on such an important scientific and technical achievement, and assured that the new setup at the WWR-K reactor would be included in the international database of neutron radiography and tomography facilities.

The neutron radiography and tomography facility is located at the horizontal channel No. 1 of the WWR-K research reactor (Fig. 1) and, at present, is the only facility of this kind in the Republic of Kazakhstan. In this setup, a neutron beam with dimensions of up to 200 mm is formed

by a collimator system and a vacuum tube to reduce losses in intensity due to neutron scattering in the air. The characteristic parameter L/D [2, 3] is determined by the ratio of the distance L between the input aperture of the collimator system and the position of the test sample to the diameter of the input aperture of the collimators D . The corresponding values for the setup are $L = 7$ m, $D = 2$ cm, which corresponds to the value of the parameter $L/D = 350$. This value is at a level of similar facilities in other world neutron centres [1]. To obtain neutron images, a special detector is used on the basis of a two-mirror optical scheme developed by SOL Instruments (Republic of Belarus). The

Рис. 1. Схема расположения основных узлов экспериментальной установки для исследований с помощью нейтронной радиографии и томографии на реакторе ВВР-К. Представлено расположение вакуумированной трубы для уменьшения потерь в интенсивности из-за рассеяния нейтронов на воздухе, место для детекторной системы и системы гониометров, бетонная биологическая защита установки

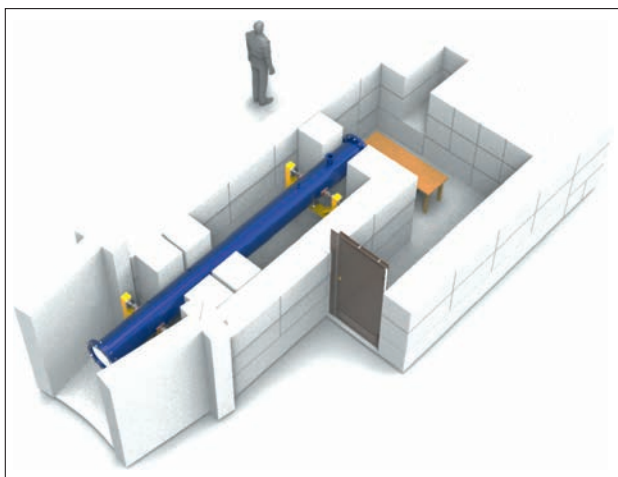


Fig. 1. Layout of the main units of the experimental setup for research using neutron radiography and tomography at the WWR-K reactor. The schematic drawing shows the location of the evacuated tube intended to reduce losses in intensity due to neutron scattering in the air, a place for detector and goniometer systems and a concrete biological shielding system

neutron image from the neutron beam transmitted through the object under investigation is transformed into a light signal using a scintillation screen, which is focused by a zoom lens on the CCD matrix of a high-sensitivity video camera based on a Hamamatsu matrix.

The results of the first scientific experiments at the constructed neutron radiography and tomography facility of the WWR-K reactor were presented at the seminar, and the future scientific programme for this neutron setup was discussed as well. The technical parameters of the facility make it possible to successfully conduct scientific experiments to analyze the internal structure of technological, engineering, paleontological, astrophysical, geophysical and other scientific objects. As an illustration of the possibilities of the experimental station, several results are presented below. Figure 2 (*a, b*) shows a conventional photograph and a neutron image of the internal structure of an automobile spark plug. The neutron radiographic image clearly reveals the internal structure of the spark plug (metal contacts and fasteners are easily distinguishable).

One of the important directions of using neutron non-destructive testing methods is the study of the spatial distribution of internal components in cultural heritage ob-

высококочувствительной видеокамеры на основе матрицы Hamamatsu.

На семинаре были представлены результаты первых научных экспериментов на созданной установке, также обсуждался вопрос о будущей научной программе для этой нейтронной установки. Ее технические параметры позволяют успешно проводить научные эксперименты по анализу внутреннего строения технологических, инженерных, палеонтологических, астрофизических, геофизических и других научных объектов. В качестве иллюстрации возможностей экспериментальной станции ниже приведены несколько полученных результатов. На рис. 2, *a* и *b* представлены обычная фотография и нейтронное изображение внутреннего устройства автомобильной свечи зажигания. На нейтронном радиографическом изображении отчетливо различимо внутреннее устройство свечи: металлические контакты и элементы крепежа.

Одним из важных направлений использования методов нейтронного неразрушающего контроля являются исследования пространственного распределения внутренних компонентов в объектах культурного наследия. В качестве примера представлены результаты нейтронных томографических исследований остатков нижней челюсти ископаемого человека — представи-

jects. As an example of such neutron tomographic studies, the results of the investigation of the remains of the lower jaw of a fossil man of semi-nomadic Saka tribes who lived in the territory of modern Kazakhstan in the period from the 1st millennium BC to the first centuries AD are presented. This archaeological object was found during excavations of the mound near the village of Rakhat in the Almaty Region. Figure 2 (*c, d*) shows a photograph of the remnants of the lower jaw and its three-dimensional model reconstructed from tomographic data. A strong spatial heterogeneity of the distribution of components within the studied archaeological object was revealed. This may be due to the complex processes of mineralization of organic tissues for such a long time. Figure 2, *e* presents a virtual cross section of several teeth of the jaw of this ancient man. The spatial resolution of the facility for neutron radiography and tomography at the WWR-K reactor is quite sufficient to visualize the dental canals and the distribution of mineral components in the volume of each tooth.

теля полукочевых племен саксов, обитавших на территории современного Казахстана в период от I тысячелетия до н.э. до первых веков н.э. Этот археологический объект был обнаружен при раскопках кургана у села Рахат в Алма-атинской области. На рис. 2, *c* и *d* представлены фотография остатков нижней челюсти и восстановленная из томографических данных ее трехмерная модель. Обнаружена сильная пространственная неоднородность распределения компонентов внутри исследуемого археологического объекта. Это мо-

жет быть связано со сложными процессами минерализации органических тканей за столь долгое время. На рис. 2, *e* показан виртуальный срез нескольких зубов челюсти этого древнего человека. Пространственного разрешения установки для нейтронной радиографии и томографии на реакторе ВВР-К вполне достаточно для визуализации зубных каналов и распределения минеральных компонентов в объеме каждого зуба.

Рис. 2. Фотография (*a*) и нейтронное изображение (*b*) внутреннего устройства автомобильной свечи зажигания. Фотография окаменелых остатков нижней челюсти ископаемого человека древних сакских племен (*c*). Восстановленная из данных нейтронной томографии трехмерная модель челюсти ископаемого человека (*d*) и виртуальный срез этой модели (*e*). Цветовая схема соответствует коэффициентам ослабления нейтронного пучка от больших значений (красный цвет) к меньшим (зеленый)

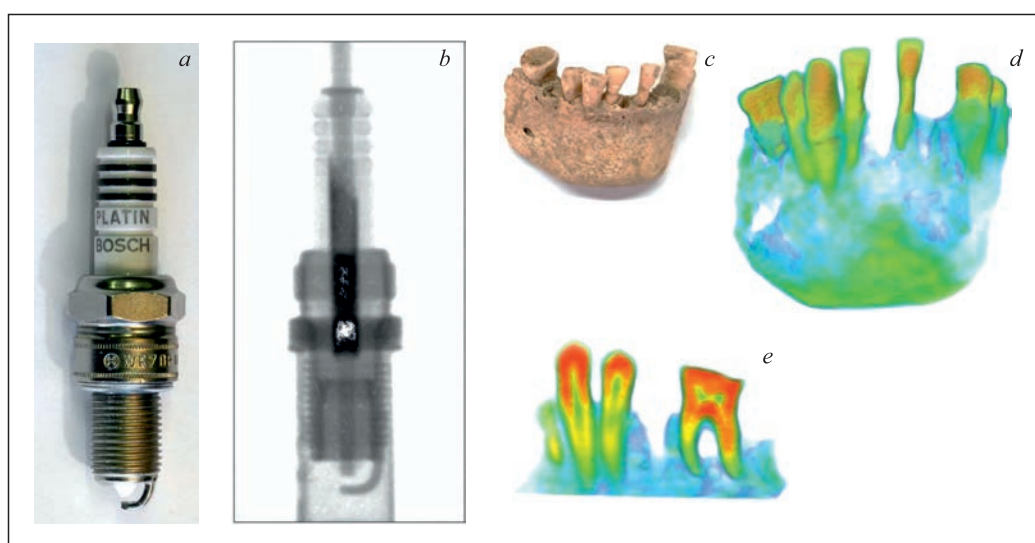


Fig. 2. Photo (*a*) and neutron image (*b*) of the internal structure of an automobile spark plug. Photo of fossilized remains of the lower jaw of a fossil man of ancient Saka tribes (*c*). A three-dimensional model of the jaw of a fossil man (*d*) reconstructed from neutron tomography data and a virtual cross section of this model (*e*). The color scheme corresponds to the attenuation coefficients of the neutron beam from large values (red) to smaller ones (green)

Список литературы / References

1. Lehmann E.H., Peetermans S., Betz B. Instrumentation in Neutron Imaging — A World-Wide Overview // *Neutron News*. 2015. V.26. P.6–10.
2. Lehmann E.H., Ridikas D. Neutron Imaging Facilities in Global Context // *J. Imaging*. 2017. V.3(4). P.52.
3. Kozlenko D.P., Kichanov S.E., Lukin E.V., Rutkauskas A.V., Bokuchava G.D., Savenko B.N., Pakhnevich A.V., Rozanov A.Yu. Neutron Radiography Facility at IBR-2 High Flux Pulsed Reactor: First Results // *Phys. Procedia*. 2015. V.69. P.87–91.
4. Kozlenko D.P., Kichanov S.E., Lukin E.V., Rutkauskas A.V., Belushkin A.V., Bokuchava G.D., Savenko B.N. Neutron Radiography and Tomography Facility at IBR-2 Reactor // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2016. V.13, No.3. P.346–351.

5. Muhametuly B., Kichanov S.E., Kenzhin E.A., Kozlenko D.P., Nazarov K.M., Shaimerdenov A.A., Bazarbaev E., Lukin E.V. Concept of a Facility of Neutron Radiography and Tomography at the Research Reactor WWR-K in Almaty, Kazakhstan // *J. Surf. Invest.: X-ray, Synchrotron Neutron Tech.* 2019. V.13, No.5. P.877–879.
6. Kozlenko D.P., Mukhametuly B., Kenzhin E.A., Kichanov S.E., Lukin E.V., Shaimerdenov A.A., Nazarov K., Savenko B.N. The Development of the Experimental Facility for Neutron Radiography and Tomography at the WWR-K Reactor (INP, Kazakhstan) // *JINR News*. 2019. No.1. P.24–27.