

Е.С. Мухамеджанов<sup>1\*</sup>, О.А. Каликулов<sup>1</sup>, С.К. Шинбулатов<sup>2</sup>,  
А.И. Жумабаев<sup>1</sup>, Ш.Б. Утей<sup>1</sup>, Н.О. Ережеп<sup>2</sup>, А.Н. Седов<sup>2</sup>,  
У.С. Сәрсенбай<sup>1</sup>, А.Е. Бактораз<sup>1</sup>, Н.О. Садуев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Физико-технический институт, Казахстан, г. Алматы

<sup>2</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН), Россия, г. Москва

\*e-mail: y.mukhamejanov@gmail.com

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И АППАРАТУРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА НЕЙТРОНОВ ОТ РЕАКТОРА ВВР-К

Исследовательский реактор является мощным источником нейтронного и гамма-излучения, возникающих в результате протекающих в реакторе ядерных реакций. В данной статье предлагается использование счетчиков нейтронов типа СНМ-18. Предлагается разработка методики эффективного измерения нейтронного фона при помощи переносных газоразрядных нейтронных счетчиков, а также наладка и подготовка системы регистрации, разработка электронной части детекторов большой площади.

Создание автоматической системы, включающей в себя комплекс аппаратуры для непрерывного автоматического, дистанционного и экспрессного определения количественной оценки потока нейтронов от ядерного реактора в режиме реального времени. Разрабатываемая аппаратура применяется для практического использования метода определения плотности потока нейтронов, что даст возможность учесть закономерности пространственного изменения поля нейтронов. Эти нейтроны имеют энергии порядка нескольких МэВ и их угловое распределение практически изотропно. Проведены работы по отработке различных конфигурации замедлителей и отражателей для потока нейтронов от реактора ВВР-К. Разработанная методика позволит сделать выводы о распределении потоков нейтронов в здании, где располагается реактор, а также влиянии этих потоков на окружающую среду от работающего исследовательского реактора ВВР-К, расположенного вблизи города Алматы.

**Ключевые слова:** нейтроны, нейтронные счетчики, детектор нейтронов, усилитель, поток нейтронов, реактор ВВР-К.

Ye.S. Mukhamejanov<sup>1\*</sup>, O.A. Kalikulov<sup>1</sup>, S.K. Shinbulatov<sup>1</sup>,  
A.I. Zhumabayev<sup>1</sup>, Sh.B. Utey<sup>1</sup>, N.O. Yerezhep<sup>1</sup>, A.N. Sedov<sup>1</sup>,  
U.S. Sarsenbay<sup>1</sup>, A.Y. Baktorz<sup>1</sup>, N.O. Saduyev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Physics and Technology, Kazakhstan, Almaty

<sup>2</sup>The Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Russia, Moscow

\*e-mail: y.mukhamejanov@gmail.com

## Development of method and equipment for measuring the density of neutron flux from the reactor WWR-K

The research reactor is a powerful source of neutron and gamma radiation resulting from nuclear reactions occurring in the reactor. Our project proposes the use of neutron counters of the SNM-18 type. Development of a method for the effective measurement of neutron background using portable gas-discharge neutron counters, also an adjustment and preparation of the registration system, development of the electronic part of detectors with large-area is proposed.

To create an automatic system that includes a set of equipment for continuous automatic, remote and rapid quantitative assessment of the neutron flux from a nuclear reactor in the mode real time. The developed equipment is used for the practical use of the method for determining the neutron flux density, which will make it possible to it is necessary to consider the laws of spatial variation of the neutron field. These neutrons have energies of the order of several MeV. The angular distribution of the generated neutrons is almost isotropic. Works on the various configurations of moderators and reflectors for the neutron flux from the WWR-K reactor was carried out The developed methodology will allow us to obtain conclusions about the distribution of neutron flux in the building where the reactor is located,

also the effect of neutron flux on the environment from a working WWR-K research reactor located near Almaty city.

**Key words:** neutrons, neutron counters, neutron detector, amplifier, neutron flux, WWR-K reactor.

Е.С. Мухамеджанов<sup>1\*</sup>, О.А. Каликулов<sup>1</sup>, С.К. Шинбулатов<sup>1</sup>,  
А.И. Жұмабаев<sup>1</sup>, Ш.Б. Утей<sup>1</sup>, Н.О. Ережеп<sup>1</sup>, А.Н. Седов<sup>1</sup>,  
У.С. Сәрсенбай<sup>1</sup>, А.Е. Бақтораз<sup>1</sup>, Н.О. Садуев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Физика-техникалық институты, Қазақстан, Алматы қ.

<sup>2</sup>Ресей ғылым академиясы П.Н. Лебедев атындағы физикалық институты, Ресей, Мәскеу қ.

\*e-mail: y.mukhamejanov@gmail.com

### ССР-Қ реакторынан нейтрондар ағынының тығыздығын анықтауға арналған аппаратура мен әдістеме дайындау

Зерттеу реакторы-реакторда пайда болатын ядролық реакциялар нәтижесінде пайда болатын нейтрондық және гамма-сәулеленудің қуатты көзі болып табылады. Бұл мақалада СНМ – 18 типті нейтрон есептегіштерін қолдану ұсынылады. Тасымалданатын газ разрядты нейтрондық есептегіштердің көмегімен нейтрондық фонды тиімді өлшеу әдістемесін әзірлеу, сондай-ақ тіркеу жүйесін реттеу және дайындау, үлкен аумақты детекторлардың электрондық бөлігін әзірлеу ұсынылады.

Нақты уақыт режимінде ядролық реактордан нейтрондар ағынын сандық бағалауды үздіксіз автоматты, қашықтықтан және жедел айқындауға арналған аппаратура кешенін қамтитын автоматты жүйені құру. Әзірленген жабдық нейтрондар ағынының тығыздығын анықтау әдісін іс жүзінде пайдалану үшін қолданылады, бұл нейтрондар өрісінің кеңістіктік өзгеру заңдылықтарын ескеруге мүмкіндік береді. Бұл нейтрондарда бірнеше МэВ тәрізді энергияға ие және олардың бұрыштық таралуы іс жүзінде изотропты болып табылады. Әзірленген әдістеме реактор орналасқан ғимаратта нейтрондар ағынының таралуы, сондай-ақ осы ағындардың Алматы қаласының маңында орналасқан жұмыс істеп тұрған ССР-Қ зерттеу реакторынан қоршаған ортаға әсері туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді.[1]

**Түйін сөздер:** нейтрондар, нейтрондық санағыштар, нейтрондық детектор, күшейткіш, нейтрондар ағыны, ССР-Қ реакторы.

### Введение

Промышленная деятельность человечества, в том числе и атомная, и тепловая энергетика, оказывает существенное техногенное воздействие на природную среду. В этой связи исследования воздействия потока нейтронов от реакторов на окружающую среду [2] являются крайне актуальными. Так как исследовательский реактор ВВР-К расположен вблизи города Алматы, то оценка влияния на окружающую среду потоков нейтронов становится особенно актуальной задачей.

В данной статье предлагается изучение взаимодействия нейтронов с веществом и определения особенностей их поглощения и отражения в различных водородосодержащих средах, таких как полиэтилен, графит, свинец, бериллий и т. д.[3,4].

Для регистрации нейтронов планируется создание экономичной и эргономичной аппаратуры. Установка, в отличие от LAND и KamLAND [5,6], состоит из газонаполненного пропорционального счетчика СНМ-18 и материалов для создания различных сред, таких как, полиэти-

лен, бор, графит, бериллий, свинец. Эксперимент будет проводиться в Институте ядерной физики при постоянном нейтронном фоне реактора ВВР-К. Счетчики данного типа с успехом применяются для регистрации нейтронов.

### Методика определения плотности потока нейтронов от реактора ВВР-К

Для нейтронов с промежуточными энергиями непригоден метод регистрации по ядрам отдачи, так как ионизационный эффект довольно мал. Кроме того, в этой области энергий нет удобных ядерных реакций, которые сопровождалась бы вылетом быстрых заряженных частиц. Поэтому для регистрации таких нейтронов с помощью борного нейтронного счетчика (в детекторах используют в качестве рабочего вещества трехфтористый бор –  $\text{BF}_3$  так называемые борные счетчики), удобно сначала замедлить нейтроны до тепловой энергии с помощью замедлителя (так называемая термализация нейтронов).

Для тестирования в системы сбора данных для нейтронных счетчиков, в качестве замед-

лителя предполагается использовались легкие элементы (водород, бериллий, графит), в которых вероятность упругого рассеяния нейтронов для этой области энергий больше вероятности поглощения. Для этого детектор будет помещен в большой блок из парафина. Замедленные нейтроны в результате диффузии могут попасть в детектор, где и регистрируются. При расчете размеров замедлителя исходили из длины замедления – среднего расстояния по прямой от места попадания нейтрона в замедлитель до места, в котором нейтрон становится тепловым.[7]

Для регистрации нейтронов планируются использоваться детекторы тепловых нейтронов, окруженные водородосодержащими веществами (например, полиэтилен, парафин, борсодержащий полиэтилен) толщиной \* 25 мм и узел радиоэлектронного тракта, включающий предусилитель, основной усилитель, амплитудный дискриминатор-формирователь и автоматический выходной регистратор со встроенным таймером и регулируемым временем экспозиции. Кроме того, в работе будут применяться свинцовые, парафиновые, графитовые, полиэтиленовые и борполиэтиленовые мишени для тестирования действующего макета дистанционного измерителя.

Целью разработанной методики является определения плотности потока нейтронов от реактора ВВР-К, основанной на учете ослабления потока нейтронов различными материалами и создание автоматической системы, включающей в себя комплекс аппаратуры для непрерывного автоматического, дистанционного и экспрессного определения количественной оценки потока нейтронов от ядерного реактора в режиме реального времени.

На данный момент измерение фона в реакторном зале проводятся стандартными методами, в основном измеряется гамма-фон, как наиболее проникающее излучение, в то время как меньшее внимание уделяется измерению нейтронных потоков. Нейтроны в реакторном зале обычно измеряются счетчиками типа БДМН-96. Нами предлагается использование счетчиков нейтронов типа СНМ-15, СНМ-18 и Гелий-2, которые имеют большую чувствительность в сравнении с БДМН-96[8,9].

Одним из существенных преимуществ предлагаемой методики, является возможность проведения измерений в режиме реального времени, в отличие от большинства существующих на сегодняшний день методик.

### **Разработка аппаратуры для автоматического измерения поток нейтронов от реактора ВВР-К нейтронными детекторами**

При разработке аппаратуры для автоматического измерения потоков нейтронов от излучения реактора ВВР-К, определяющими критериями оптимизации являются потребляемая мощность, вес, габариты нейтронного детектора [10].

На основании проведенных экспериментальных исследований были определены наиболее оптимальные уровни питающих напряжений, а также определена конструкция аппаратуры для автоматического измерения нейтронных потоков от реактора [11,12]. Основные элементы конструкции детектора нейтронов, следующие:

- Блок водородосодержащего замедлителя;
- Элементы крепления детектора нейтронов (СНМ-18 или аналогичного);
- Конструкция узла усилителя и микроконтроллера для анализа сигнала от детектора;
- Конструкция узла для высоковольтного источника питания и передатчика сигналов.

Выполнена отладка используемого усилителя. В усилителе использованы оригинальные схемные решения, позволяющие добиться снижения потребляемой мощности. Его частотная характеристика была оптимизирована с целью получения максимального отношения сигнал/шум (рисунок 1).

Была разработана высоковольтная плата питания для нейтронных счетчиков, ее принципиальная схема представлена на рисунке 2. Чтобы уменьшить общее энергопотребление электроники, было уменьшено высокое напряжение. Это привело к уменьшению сигнала от нейтронного счетчика, что потребовало увеличения усиления электроники. При высоком усилении тепловой шум электроники становится значительным – отношение сигнал/шум уменьшается. Чтобы улучшить его, необходимо уменьшить полосу пропускания усилителя. Это может быть настроено, поскольку спектральная плотность шума приблизительно постоянна, и спектральная плотность сигнала увеличивается в низкочастотной области, и потому что в этой реализации сигнал может быть описан интегралом дельта-импульса. Поскольку расчетная скорость счета нейтронов была ниже 1 в секунду, полоса частот была выбрана в области 100 Гц.

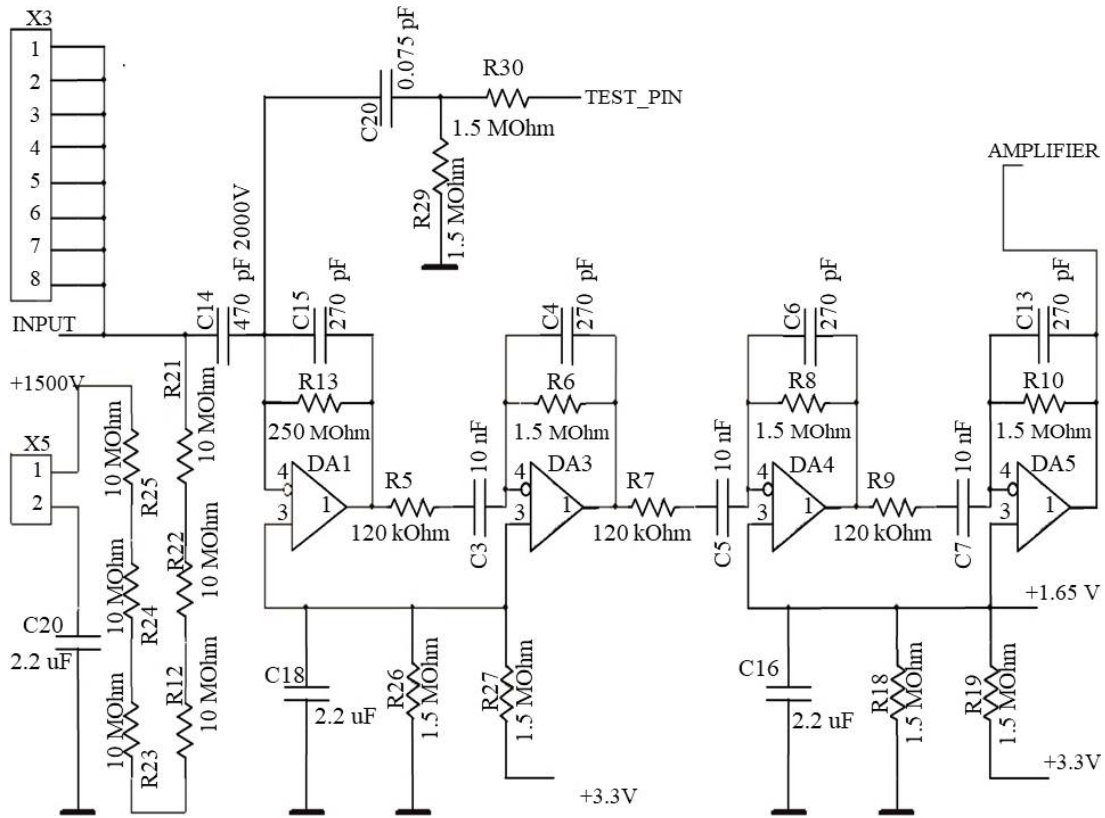


Рисунок 1 – Принципиальная схема используемого усилителя

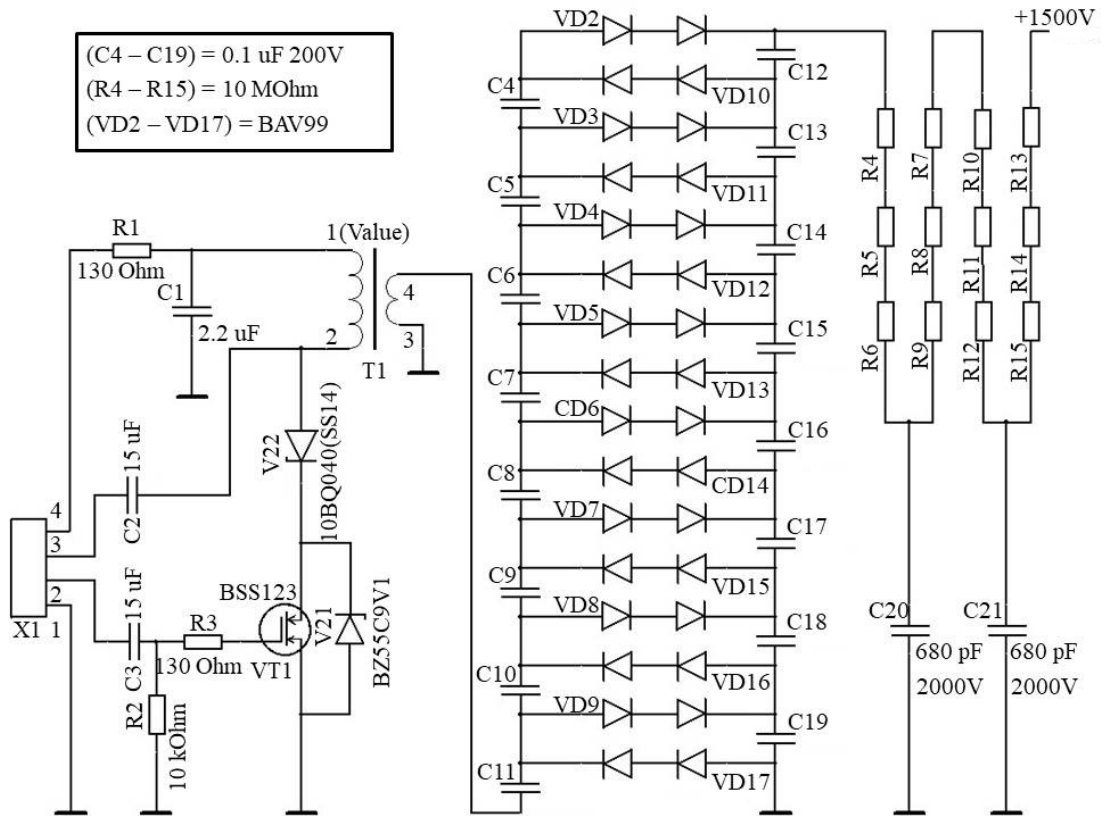


Рисунок 2 – Принципиальная схема источника высокого напряжения

Были смонтированы и установлены на посадочные места, основные узлы подключения и передача сигналов с аппаратуры для автоматического измерения потоков нейтронов с реактора ВВР-К.

В частности, были установлены платы высоковольтного питания и платы съема информации для аппаратуры. Для быстрой передачи сигналов использовали разъем USB 2.0 (Рисунок 3).



**Рисунок 3** – Основные узлы подключения и передача сигналов с разрабатываемой аппаратуры для автоматического измерения потоков нейтронов

*Работа выполнена при поддержке гранта Комитета науки министерства образования и науки РК ИРН АР08857359 «Измерение потоков*

*нейтронов от реактора ВВР-К нейтронными детекторами большой площади для оценки влияния на окружающую среду».*

#### Литература

- 1 Saduev N.O., Kalikulov O.A., Shepetov A.L., Mukhamejanov Y.S., Yerezhep N.O., Shinbulatov S.K., Zhumabayev A.I., Utey Sh., Baktorz A.E. Experimental studies of cosmic rayus at the laboratory of cosmic rays variations of al-Farabi Kazakh National University // INDC International Nuclear Data Comitite, Proceedings of the Tenth AASPP Workshop on Asian Nuclear Reaction Database Development. – 2019. Almaty, Kazakhstan
- 2 Brovchenko M., Duhamel I., Dechenaux B. Neutron-gamma flux and dose calculations for feasibility study of DISCOMS instrumentation in case of severe accident in a GEN 3 reactor // EPJ Web of Conferences 153, 2017. – 07030 (1-6).
- 3 Чубенко А.П., Щепетов А.Л., Оскомов В.В., Садыков Т.Х., Байгубеков А.С., Жунусбеков М.К., Застрожнова Н.Н. и др. Исследование нейтронной компоненты космических лучей на высоте 1750 м над уровнем моря // Материалы 30-й Всероссийской конференции по космическим лучам. – 2008. – С 62.
- 4 Shepetov A., Chubenko A., Kryakunova O., Kalikulov O., Mamina S., Mukashev K., Nam R., Piscal V., Ryabov V., Saduyev N., Sadykov T., Salikhov N., Tautaeв E., Vil'danova L., Zhantayev Zh., and Zhukov V. Underground neutron events at Tien Shan // IOP Journal of Physics: Conf. Series 1181. – 2019. – P. 012017.
- 5 Blaich Th., Elze Th.W., Emling H., Freiesleben H., Grimm K., Henning W., Holzmann R., Ickert G., Keller J.G., Klingler H., Kneissl W., König R., Kulesa R., Kratz J.V., Lambrecht D., Lange J.S., Leifels X., Lubkiewicz E., Proft M., Prokopowicz W., Schütter C., Schmidt R., Spies H., Stelzer K., Stroth J., Walus W., Wajda E., Wollersheim H.J., Zinser M., Zude E. LAND Collaboration A large area detector for high-energy neutrons // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. – 1992. – P.136-154.
- 6 Kozlov A., Chernyak D. A large area detector for thermal neutron flux measurements at the KamLAND site // Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A. – 2018. – P.162-169.
- 7 Yerezhep N., Trzaska W.H., Bezrukov L., Enqvist T., Kuusiniemi P., Inzhechik L., Joutsenvaara J., Loo K., Lubsandorzhev B., Slupecki M., Saduyev N.O., Baktorz A., Mukhamejanov Y. Underground investigation of extensive air showers spectra at high energy range of cosmic rays and other research in the pyhäsalmi mine // Recent Contributions to Physics. – 2020. – Vol 72 – No 1 – Page 19-26.
- 8 Shaulov S.B., Saduyev N.O., Kalikulov O.A., Zhukov V.V., Ryabov V.A., Shepetov A.L., Vil'danova V.I., Mukhamejanov E.S., Yerezhep N.O., Shinbulatov S.K., Utey Sh.B. Autonomous station for recording radiation in a thunderstorm atmosphere at the Tien Shan high mountain cosmic-ray station // Recent Contributions to Physics. – 2019. – №3(70) – С. 84-98.
- 9 Shaulov S.B., Saduyev N.O., Beznosko D., Kalikulov O.A., Zhukov V.V., Ryabov V.A., Shepetov A.L., Piskal V.V., Mukhamejanov E.S., Shinbulatov S.K., Zhumabayev A.I., Utey Sh.B., Yerezhep N.O. Method for determining angles in X-ray emulsion chambers // Recent Contributions to Physics. – 2019. – №2 (69) – С. 61-70.
- 10 N.O. Sadyev, O.A. Kalikulov, A.N. Sedov, Y.S. Mukhamejanov, V.V. Oskomov, S.K. Shinbulatov, N.O. Yerezhep, Sh.B. Utey, A.Y. Baktorz Development of an automated system for the determination of the snow water equipment and soil moisture by the neutron component of cosmic rays // Acta Physica Polonica B. – 2020. –Vol. 51, –No. 3, –P. 887-892.

11 Оскомов В. В., Седов А. Н., Садуев Н. О., Каликулов О. А., Мендибаев К. О., Жумабаев А. И., Мухамеджанов Е. С., Искаков Б. А., Байгарашев Д. М., Таутаев Е. М., Кенжина И. Е. Микроощные узлы радиоэлектронного тракта нейтронного детектора // Известия НАН РК, Серия физико-математическая 2(294). – 2014. – С. 69-73.

12 Oskomov V., Sedov A., Saduyev N., Kalikulov O., Kenzhina I., Tautaev E., Mukhamejanov Y., Dyachkov V., Utey Sh. Data collection system for a wide range of gas-discharge proportional neutron counters // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 936. – 2017. – P. 012047 (1-5).

### References

1 N.O. Saduev, et al, INDC International Nuclear Data Comitte, Proceedings of the Tenth AASPP Workshop on Asian Nuclear Reaction Database Development. – 2019. Almaty, Kazakhstan (2019).

2 M. Brovchenko et al., Neutron-gamma flux and dose calculations for feasibility study of DISCOMS instrumentation in case of severe accident in a GEN 3 reactor, EPJ Web of Conferences 153, 07030 (2017).

3 A.P. Chubenko, i dr. Materialy 30-y Vserossiyskoy konferentsii po kosmicheskim lucham, 62 (2008). (in Russ.)

4 A. Shepetov et al, Underground neutron events at Tien Shan, IOP Journal of Physics: Conf. Series 1181, 012017 (2019)

5 Blaich et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 136-154 (1992).

6 A. Kozlov et al., Nuclear Inst. and Methods in Physics Research A, 162-169 (2018).

7 N. Yerezhap, Recent Contributions to Physics, 72 (1), 19-26 (2020).

8 N.O. Sadyev et al., Acta Physica Polonica B, 51 (3), 887-892 (2020).

9 S.B. Shaulov et al., Recent Contributions to Physics, 3 (70), 84-98 (2019).

10 S.B. Shaulov et al., Recent Contributions to Physics ,2 (69), 61-70 (2019).

11 V.V. Oskomov et al., News NAS RK, Phys. Math. 294, 69 (2014). (in Russ).

12 V.V. Oskomov et al., Data collection system for a wide range of gas-discharge proportional neutron counters, J. Phys.: Conf. Ser. 936, 012047 (2017).