

*С.Г. КАРПУСЬ*, мл. науч. сотрудн., ННЦ «ХФТИ»

## **СИСТЕМА ПИТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ИНЖЕКТОРА МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ ЭСУ «СОКОЛ»**

В 2010 г. в ННЦ «ХФТИ» был разработан источник многозарядных ионов газов (типа Пеннинга с холодными катодами и продольным извлечением ионов) для электростатического ускорителя «СОКОЛ», использование которого расширяет аналитические возможности установки для ядерно-физических методов анализа. Для согласования работы источника многозарядных ионов с ускорителем разработаны инжектор и система питания и управления. В статье представлено описание системы питания и управления инжектором многозарядных ионов ЭСУ «СОКОЛ», которая состоит из таких дистанционно регулируемых источников питания напряжений: разрядного (анодного), вытягивающего, фокусирующего, а также источников питания и управления системы напуска рабочих газов. Показано, что система питания и управления удовлетворяет предъявленным требованиям эксплуатации и обеспечивает стабильную работу инжектора многозарядных ионов газов.

**Ключевые слова:** инжектор многозарядных ионов, электростатический ускоритель, система питания и управления.

**Введение.** В 1984 г. в Национальном научном центре «Харьковский физико-технический институт» (ННЦ ХФТИ) был создан аналитический ядерно-физический комплекс «СОКОЛ» [1, 2, 3]. Комплекс состоит из малогабаритного электростатического ускорителя (ЭСУ) горизонтального типа с максимальным потенциалом на кондукторе 1,8 МВ, системы транспортировки пучка ускоренных ионов, магнитного масс-анализатора для разделения пучка ионов по массам и раздачи пучка по экспериментальным камерам. Первоначально для получения ионов использовался высокочастотный источник, который позволял получать однозарядные ионы газов. В дальнейшем, с целью расширения возможностей ускорительной установки за счет получения ионов с энергией больше 1,8 МэВ, была поставлена задача по разработке инжектора многозарядных ионов.

**Постановка проблемы.** При разработке инжектора ионов необходимо учитывать все требования, связанные с эксплуатацией его на конкретном ускорителе.

Предварительные стендовые испытания источника многозарядных ионов [4, 5] и расчеты по транспортировке пучка показали, что необходима система согласования параметров пучка, извлекаемого из источника многозарядных ионов (ИМИ), с ионно-оптическими характеристиками ускорительной трубки, то есть система инжекции.

При разработке системы инжекции пучка необходимо учитывать очень

многие реальные факторы:

- геометрические размеры ускорителя и высоковольтного электрода (кондуктора);
- положение раздаточного магнита;
- положение экспериментальных камер;
- диапазон изменения потенциала высоковольтного электрода;
- пределы изменения тока пучка ионов.

При проведении исследований на аналитической установке «СОКОЛ» возникает необходимость изменять потенциал кондуктора от 300 кВ до максимального – 1,8 МВ. Ток пучка ионов на мишени в зависимости от решаемых задач необходимо изменять от нескольких наноампер до нескольких микроампер. Изменение тока можно осуществлять регулировкой рабочих параметров ИМИ – разрядного напряжения, давления рабочего газа в источнике, вытягивающего напряжения. Изменения этих параметров приводит к изменению энергии ионов извлекаемого пучка. Так как оптические характеристики ускорительной трубки зависят от соотношения потенциала на высоковольтном электроде и энергии ионов пучка на входе в ускорительную трубку то ясно, что обеспечить качественную транспортировку пучка ионов в широком диапазоне изменения указанных параметров является достаточно сложной задачей.

Таким образом, разрабатываемая система инъекции должна удовлетворять следующим требованиям:

обеспечить постоянство энергии ионов пучка на входе в ускорительную трубку при изменении разности потенциалов «катод - экстрактор»;

позволять регулировать энергию ионов на входе в трубку для выбора оптимальных условий транспортировки пучка.

Исходя из этих требований, было рассчитано несколько систем инъекции, которые отличались геометрическими размерами и потенциалами электродов. На основании проведенных расчетов была разработана система инъекции, состоящая из двух электродов – вытягивающего и фокусирующего.

**Целью** данной работы является разработка системы питания и управления инжектором многозарядных ионов, которая удовлетворяет всем выше перечисленным требованиям.

### **Система питания и управления инжектора многозарядных ионов**

На рис.1. представлено общий вид ЭСУ «СОКОЛ» без сосуда высокого давления. На рис. 2, представлена принципиальная схема системы питания и управления инжектором, удовлетворяющая всем выше перечисленным требованиям, а на рис. 3 – инжектор многозарядных ионов с системой питания и управления на ЭСУ «СОКОЛ».

Система питания и управления состоит из следующих источников:

- источник анодного напряжения В1 предназначен для получения оп-

- тимального режима работы ионного источника для различных рабочих газов: выходное напряжение 0...5 кВ, ток нагрузки до 5 мА;
- источник вытягивающего напряжения В2 предназначен для регулировки величины тока пучка ионов, извлекаемого из ионного источника: выходное напряжение 0...16 кВ, ток нагрузки до 1 мА;
  - источник фокусирующего напряжения В3 предназначен для согласования параметров пучка с ионно-оптическими свойствами ускорительной трубкой при различных напряжениях на кондукторе ускорителя: выходное напряжение 0...18 кВ, ток нагрузки до 1 мА;
  - два идентичных источника питания (Тр8 и Тр9) биметаллических натекаателей газа N1 и N2, предназначенных для регулировки потока рабочего газа, напускаемого в источник ионов для получения оптимального режима работы источника: выходное напряжение 0...6 В, ток нагрузки до 8 А.

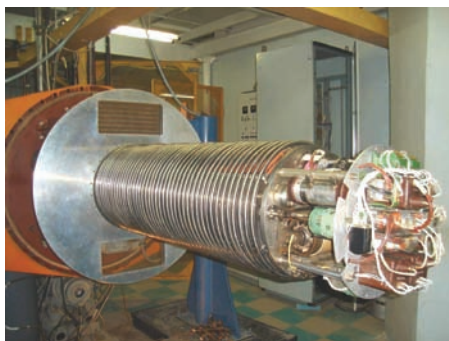


Рисунок 1 – ЭСУ «СОКОЛЬ» без кондуктора и сосуда высокого давления

Источники питания В1, В2, Тр8 и Тр9 изолированы от высоковольтного электрода на напряжение 20 кВ.

Источники питания В1, В2 и В3 построены на базе промышленных трансформаторов типа ТВ1-43-115-400, для получения высокого напряжения используются умножители напряжения.

Источники питания натекаателей газа N1 и N2 построены на самодельных трансформаторах.

Источники питания дистанционно управляются с пульта управления ускорителем, туда же выводится информация о режиме работы ускорителя. Кроме того, с пульта управления осуществляется выбор одного из двух рабочих газов, напускаемых в источник ионов.

Регулировка выходных напряжений источников питания осуществляется с помощью промышленных автотрансформаторов типа АРМ-6, а управление автотрансформаторами – с помощью изолирующих штанг с пульта.

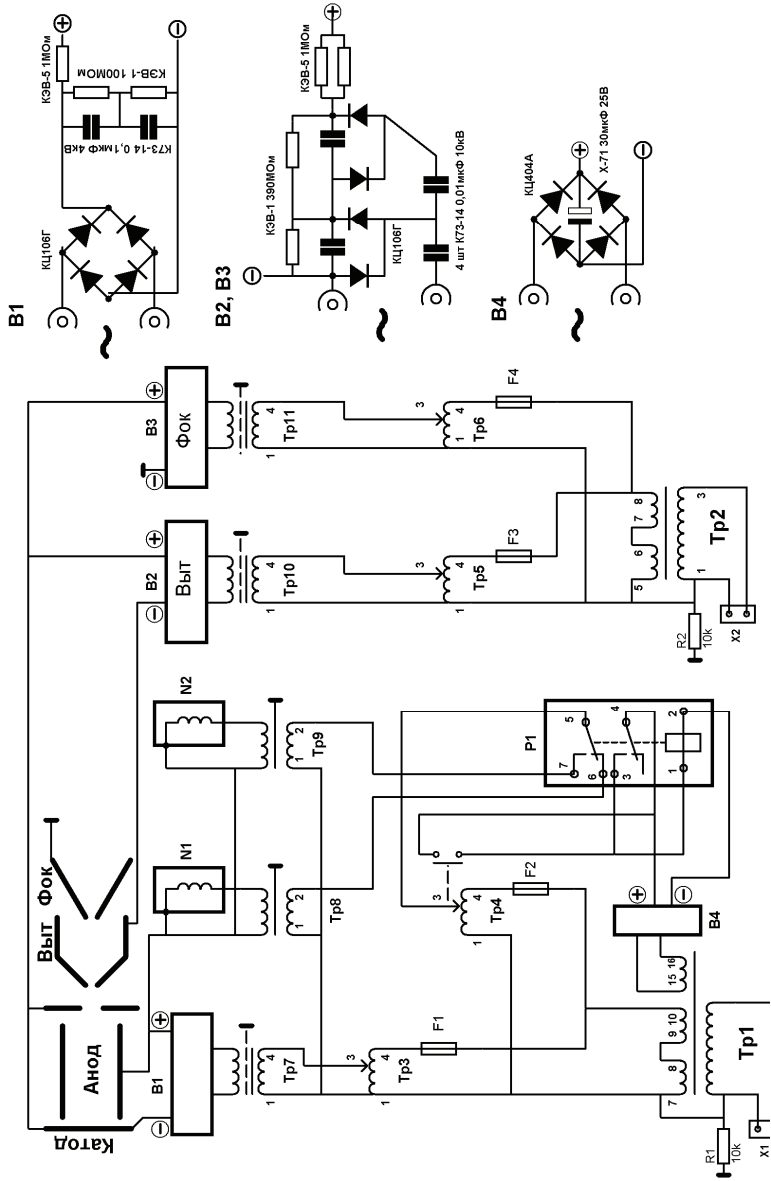


Рисунок 2 – Принципиальная схема питания и управления инжектором многозарядных ионов для ЭСУ «СОКОЛЬ»

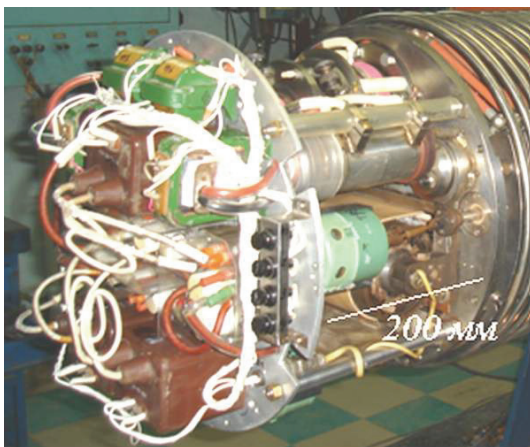


Рисунок 3 – Инжектор многозарядных ионов с системой питания и управления, которые находятся под кондуктором ЭСУ «Сокол»

Поскольку и выбор рабочего газа и регулировка потока газа, напускаемого в источник ионов, осуществляется одной штангой, была применена релейная схема Р1 и источник питания В4, позволяющие совместить эти две функции.

Все электрооборудование на высоковольтном электроде (Тр1 и Тр2) питается от вал-генератора (разработка ННЦ ХФТИ), приводимого во вращение ленточным транспортером зарядов. Вал-генератор содержит два независимых электрогенератора 220 В, 150 Вт и 400 Гц каждый. Полная мощность, потребляемая оборудованием, установленным на высоковольтном электроде, не превышает 150 Вт.

**Выводы.** При разработке и изготовлении системы питания и управления учитывался опыт, полученный при работе с высокочастотным источником ионов на ЭСУ «СОКОЛ». Все компоненты электрической схемы системы были ранее испытаны при работе в экстремальных условиях сосуда высокого давления (давление в диапазоне  $10^3 \div 5 \cdot 10^5$  Па) и под действием тормозного излучения электронов с энергией до 1,8 МэВ. Опыт работы с инжектором многозарядных ионов на ЭСУ «СОКОЛ», показал высокую надежность системы питания и управления в течении длительного промежутка времени.

**Список литературы:** 1. Вергунов А. Д. Малогабаритный электростатический ускоритель на 2 МэВ горизонтального типа / А. Д. Вергунов, Ю. З. Левченко, М. Т. Новиков и др. // ВАНТ. – 1983. – № 3 (24). – (Серия: Общая и ядерная физика). – С. 13–15. 2. Ботвинов Л. П. Малогабаритный электростатический ускоритель на 2 МэВ горизонтального типа (предварительные испытания) / Л. П. Ботвинов, А. Д. Вергунов, Л. С. Глазунов и др. // ВАНТ. – 1985. – №1(22). – (Серия: Техника физического эксперимента). – С. 26-28. 3. Бондаренко В. Н. Аналитический ядерно-физический комплекс ННЦ ХФТИ «Сокол» (опыт эксплуатации и модернизация) /

*В. Н. Бондаренко, Л. С. Глазунов, А. В. Гончаров и др. // Труды XVI междунар. конф. по электростатическим ускорителям и пучковым технологиям. – Обнинск. : ГНЦ ФЭИ, 2006. – С. 98-107.*  
**4. Карпусь С. Г.** Источник многозарядных ионов для установки «Сокол» (стендовые испытания) / С. Г. Карпусь // ВАНТ. – 2009. – №2(93). – (Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение). – С. 198-201. **5. Glazunov L. S.** Multi-charged ion source / L. S. Glazunov, A. V. Zats, S. G. Karpus, V. V. Kuz'menko, V. M. Pistryak // Problems of atomic science and technology. – 2011. – № 3 (55). – (Series: Nuclear Physics Investigations). – P.68-74.

**Bibliography (transliterated):** 1. Vergunov A. D., Ju. Z. Levchenko, M. T. Novikov, V. M. Pistrjak, V. E. Storizhko and S. Ja. Chekanov. "Malogabaritnyj jelektrostaticheskij uskoritel' na 2 MjeV gorizontalnogo tipa." VANT. Ser.: Obshhaja i jadernaja fizika. №3(24). 1983. 13–15. Print. 2. Botvinov L. P., A. D. Vergunov, L. S. Glazunov, A. V. Zac, Ju. Z. Levchenko, M. T. Novikov, V. M. Pistrjak, V. E. Storizhko and S. Ja. Chekanov. "Malogabaritnyj jelektrostaticheskij uskoritel' na 2 MjeV gorizontalnogo tipa (predvaritel'nye ispytanija)." VANT. Ser.: Tehnika fizicheskogo jeksperimenta. №1(22). 1985. 26-28. Print. 3. Bondarenko V. N., L. S. Glazunov, A. V. Goncharov, A. V. Zac, V. V. Kuz'menko, V. V. Levenec, A. P. Omel'nik, V. M. Pistrjak, V. I. Suhostavec and A. A. Shhur. "Analiticheskij jaderno-fizicheskij kompleks NSC KIPT "Sokol" (opyt jekspluatacii i modernizacija)." Trudy XVI mezhdunar. konf. po jelektrostaticheskim uskoriteljam i puchkovym tehnologijam. Obninsk.: SSC IPPE. 2006. 98-107. Print. 4. Karpus S. G. "Istochnik mnogojarjadnyh ionov dlja ustanovki «Sokol» (stendovye ispytanija)." VANT. Ser.: Fizika radiacionnyh povrezhdenij i radiacionnoe materialovedenie. №2(93). 2009. 198-201. Print. 5. Glazunov L. S., A. V. Zats, S. G. Karpus, V. V. Kuz'menko, V. M. Pistryak. "Multi-charged ion source." Problems of atomic science and technology. Ser.: Nuclear Physics Investigations. №3(55). 2011. 68-74. Print.

*Поступила (received) 01.10.2014*

УДК 621.3.038.613

**Система живлення й управління інжектора багатозарядних іонів ЕСУ «СОКОЛ» / С. Г. Карпусь // Вісник НТУ «ХП». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХП», 2014. – № 50 (1092). – С. 85-90. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0740.**

В 2010 р. в ННЦ ХФТИ було розроблено джерело багатозарядних іонів газів (типу Пеннінга з холодними катодами та витягуванням іонів вздовж осі джерела) для електростатичного прискорювача (ЕСП) «СОКОЛ», використання якого розширює аналітичні можливості установки для ядерно-фізичних методів аналізу. Для узгодження роботи джерела багатозарядних іонів з прискорювачем розроблено інжектор і система керування та живлення. В статті представлено опис системи керування та живлення інжектором багатозарядних іонів ЕСП «СОКОЛ», яка складається з таких дистанційно керованих джерел живлення: розрядного (анодного), витягування, фокусування, а також джерел живлення та керування системи напуску робочих газів. Показано, що система живлення та керування відповідає вимогам експлуатації та забезпечує стабільну роботу інжектора.

**Ключові слова:** інжектор багатозарядних іонів, електростатичний прискорювач, система живлення та керування.

УДК 621.3.038.613

**Система питания и управления инжектора многозарядных ионов ЭСУ «СОКОЛ» / С. Г. Карпусь // Вісник НТУ «ХП». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХП», 2014. – № 50 (1092). – С. 85-90. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0740.**

В 2010 г. в ННЦ «ХФТИ» был разработан источник многозарядных ионов газов (типа Пеннинга с холодными катодами и продольным извлечением ионов) для электростатического ускорителя «СОКОЛ», использование которого расширяет аналитические возможности для ядерно-физических методов анализа. Для согласования работы источника многозарядных ионов с ускорителем разработаны инжектор и система питания и управления. В статье представлено описание системы питания и управления инжектором многозарядных ионов ЭСУ «СОКОЛ», которая состоит из таких дистанционно регулируемых источников питания

напряжений: разрядного (анодного), вытягивающего, фокусирующего, а также источников питания и управления системы напуска рабочих газов. Показано, что система питания и управления удовлетворяет предъявленным требованиям эксплуатации и обеспечивает стабильную работу инжектора многозарядных ионов газов.

**Ключевые слова:** инжектор многозарядных ионов, электростатический ускоритель, система питания и управления.

**The power supply system and management of multivalent ion injector / S. G. Karpus** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 50 (1092). – С. 85-90. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-0740.

In 2010 in the NSC KIPT the multi-charged ions source (Penning type with cold cathodes and the axial ion extraction system) for the electrostatic accelerator (ES) «SOKOL» was developed. The using of multi-charged ions beams extracted from this ion source empowers of analytical capabilities for IBA techniques. For coordination of multi-charged ions source and electrostatic accelerator the injector and power supply and control system were developed. In this paper the description of the power supply and control system of multi-charged ions injector is present. It consists of such remotely controlled power supplies for anode discharge, ion extraction and focusing of the extracted ion beam and power supplies for control of gas feed system. The power supply and control system of the multi-charged ions injector satisfies the requirements and ensures the stable injector operation.

**Keywords:** multi-charged ions injector, electrostatic accelerator, power supply and control system.