

## ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА $^{99}\text{Mo}$ ИЗ НИЗКОБОГАЩЕННОГО УРАНА НА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЯДЕРНОЙ УСТАНОВКЕ ВВР-ц

**О.Ю. Кочнов, В.И. Степанов, Д.А. Пахолик, В.В. Колесов, Е.В. Никулин**  
*АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова»  
249035, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, д. 6*

**Р**

В настоящее время основным промышленным способом получения  $^{99}\text{Mo}$  является наработка радионуклида как одного из осколков деления  $^{235}\text{U}$ . Для этого  $^{235}\text{U}$  облучают нейтронами в ядерном реакторе (могут использоваться как гетерогенные, так и гомогенные ядерные реакторы) и затем перерабатывают в радиохимических лабораториях, где химическим путем извлекают  $^{99}\text{Mo}$  из продуктов деления.

Для получения  $^{99}\text{Mo}$  осколочным способом могут использоваться как высокообогащенный уран (ВОУ), так и низкообогащенный (НОУ). На сегодняшний день практически все мировые производители, за исключением России, либо находятся на заключительных этапах перевода производства с высокообогащенного урана на низкообогащенный, либо уже производят  $^{99}\text{Mo}$  с использованием НОУ. Это связано с проблемами нераспространения ядерных материалов и предотвращением вероятности террористических угроз.

Представлены результаты наработки и выделения  $^{99}\text{Mo}$  из мишеней с НОУ-материалом. Показано, что необходимо совершенствовать технологию переработки мишеней для увеличения производства осколочного  $^{99}\text{Mo}$  из НОУ.

**Ключевые слова:** осколочный  $^{99}\text{Mo}$ , исследовательский реактор ВВР-ц, высокообогащенный уран, низкообогащенный уран, мишень для наработки  $^{99}\text{Mo}$ .

**Для цитирования:** Кочнов О.Ю., Степанов В.И., Пахолик Д.А., Колесов В.В., Никулин Е.В. Опыт производства  $^{99}\text{Mo}$  из низкообогащенного урана на исследовательской ядерной установке ВВР-ц. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2023. – № 4. – С. 111-118. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2023.4.09>

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальной задачей является увеличение производства радионуклида  $^{99}\text{Mo}$  для диагностики онкозаболеваний [1]. Основными производителями осколочного  $^{99}\text{Mo}$  из ВОУ в РФ являются АО «ГНЦ НИИАР» (г. Димитровград) и АО «НИФХИ им. Л.Я.Карпова» (г. Обнинск), которые полностью обеспечивают потреб-



Рис. 1. Конструкция мишени с проточным охлаждением для производства  $^{99}\text{Mo}$

ности отечественной медицины в этом изотопе [2]. В связи с угрозой нарушения нераспространения ядерных материалов встал вопрос перехода на использование НОУ-мишеней для производства осколочного  $^{99}\text{Mo}$  [3–6]. Решение этой задачи связано с выполнением комплекса научно-исследовательских и технологических работ.

### ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА $^{99}\text{Mo}$ ИЗ НОУ НА БАЗЕ РЕАКТОРА ВВР-ц

В АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» производство осколочного радионуклида  $^{99}\text{Mo}$  из ВОУ начато с 1985 г. Технология изготовления и облучения мишеней постоянно совершенствуется, что приводит к существенному увеличению целевого радионуклида. В настоящее время потенциальный объем производства составляет около 400 Ки (товарных) в неделю.

В период 2015–2019 гг. проводились работы по обновлению геометрии и характеристик мишени из НОУ, а также возможности их изготовления [7]. В период с 2020 г. по 2021 г. на базе АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» изготовлено несколько мишеней из НОУ и выполнен ряд экспериментальных исследований, включающих в себя изучение влияния мишеней из НОУ на запас реактивности реактора ВВР-ц, облучение данных мишеней

в экспериментальных каналах и выделение  $^{99}\text{Mo}$  из них. Использовались мишени с проточным охлаждением (рис. 1).

Мишень с проточным охлаждением представляет собой трубчатую конструкцию со сквозным проходом воды для улучшения теплообмена [7, 8]. Между внутренней и наружной трубками помещается смесь урансодержащего материала и оксида цинка. Одновременно в канал устанавливается не более двух мишеней.

Использовались стандартные каналы петлевых устройств МАК и МАК-2 со стандартными эксплуатационными параметрами (давление, расход, температура) [8].

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИШЕНЕЙ ИЗ НОУ НА ЗАПАС РЕАКТИВНОСТИ РЕАКТОРА ВВР-ц

Экспериментальное исследование проводилось на разотравленном реакторе. Запас реактивности ( $\rho_{\text{изм}i}$ ) определялся по положению стержней регулирования (СР) [9] в активной зоне при выводе реактора на минимально контролируемый уровень мощности (МКУ) до и после загрузки в экспериментальный канал (ЭК) 8-9 мишеней из НОУ. Экспериментальное исследование состояло из следующих этапов.

- Вывод реактора на МКУ, фиксирование положения СР и температуры воды первого контура ( $T_1$ , °С), снижение мощности до нуля. Расчет запаса реактивности реактора ( $\rho_1$ ) по экспериментальным данным.
- Загрузка в ЭК 8-9 мишеней из НОУ.
- Вывод реактора на МКУ, фиксирование положения СР и температуры воды первого контура ( $T_1$ , °С), снижение мощности до нуля. Расчет запаса реактивности реактора ( $\rho_2$ ) по экспериментальным данным.
- Определение изменения запаса реактивности ( $\rho$ ) реактора ВВР-ц при размещении в ЭК 8-9 мишеней из НОУ.

Расчет запаса реактивности реактора ( $\rho_1$ ) при выходе на МКУ во время первого этапа выполнялся по зафиксированному положению СР (используются интегральные характеристики стержней регулирования):

$$\rho_1 = \rho_{\text{изм1}} \quad (1)$$

Расчет запаса реактивности реактора ( $\rho_2$ ) при выходе на МКУ во время третьего этапа выполнялся с учетом изменения температуры ( $\Delta T$ , °С) воды в первом контуре по отношению к первому этапу:

$$\rho_2 = \rho_{\text{изм2}} - \Delta\rho_t \quad (2)$$

где  $\Delta\rho_t = \alpha_t \cdot \Delta T$  – температурный эффект реактивности, %;  $\alpha_t = \pm 0,012$  %/°С – температурный коэффициент реактивности реактора ВВР-ц [9].

Изменение запаса реактивности вычислялось по формуле

$$\Delta\rho = \rho_2 - \rho_1 \quad (3)$$

В таблице 1 представлены результаты измерений и расчетов.

Таблица 1

### Результаты измерений и расчетов для НОУ

Номер этапа	$\rho_{\text{изм}i}$ , %	$T_i$ , °С	$\Delta T$ , °С	$\Delta\rho_t$ , %	$\rho_i$ , %	$\Delta\rho$ , %
1	2,552	17,80	+0,30	–	2,552	0,042
3	2,590	18,10		– 0,004	2,594	

Как видно из табл. 1, при загрузке мишени из НОУ в экспериментальный канал реактора ВВР-ц прирост положительной реактивности составил 0,042 %. При аналогичном экспериментальном исследовании для стандартной мишени из ВОУ (табл. 2) был получен прирост реактивности, равный 0,045%. Данные результаты показывают, что мишени из НОУ имеют нейтронно-физические характеристики, схожие с применяемыми мишенями из ВОУ. Нарботка  $^{99}\text{Mo}$  в мишенях из НОУ при облучении в реакторе сопоставима с наработкой данного радионуклида в мишенях из ВОУ.

Таблица 2

### Результаты измерений и расчетов для ВОУ

Номер этапа	$\rho_{\text{изм}i}$ , %	$T_i$ , °С	$\Delta T$ , °С	$\Delta\rho_t$ , %	$\rho_i$ , %	$\Delta\rho$ , %
1	2,920	21,1	+0,10	–	2,920	0,045
3	2,966	21,2		– 0,001	2,965	

## ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО НАРАБОТКЕ И ВЫДЕЛЕНИЮ $^{99}\text{Mo}$ ИЗ НОУ

### Эксперимент № 1

Нарботка  $^{99}\text{Mo}$  исследовалась в экспериментальном канале 8-9 ИЯУ ВВР-ц. В целях сравнения рассматривались два типа мишеней: из НОУ и из ВОУ (стандартная мишень).

Рассматривался следующий режим облучения на ИЯУ ВВР-ц:

- мощность реактора 10,36 МВт;
- мишени облучаются в течение 110,90 ч.

После останова реактора мишени находились на выдержке в экспериментальном канале для снятия остаточного энерговыделения и распада короткоживущих радионуклидов в течение 20 ч. После выдержки в ЭК 8-9 мишени были отправлены на переработку в горячую камеру (хорошо защищенный бокс, в котором при помощи дис-

Таблица 3

**Результаты расчета на момент останова реактора**

Расчетный выход <sup>99</sup> Mo	Мишени НОУ		Мишени ВОУ	
	верх	низ	верх	низ
Количество ядер <sup>99</sup> Mo, шт.	64,89·10 <sup>17</sup>	52,25·10 <sup>17</sup>	70,56·10 <sup>17</sup>	67,89·10 <sup>17</sup>
Активность <sup>99</sup> Mo, Ки	511,52	411,88	556,22	535,17
Суммарная активность <sup>99</sup> Mo, Ки	923,40		1091,39	

Таблица 4

**Экспериментальный и расчетный выход <sup>99</sup>Mo (нижняя мишень)**

Тип мишени	Активность <sup>99</sup> Mo, Ки		Радиохимический выход <sup>99</sup> Mo, %
	Расчет	Эксперимент	
НОУ	267,80	62,40	23,30
ВОУ (стандартная переработка)	347,96	212,25	61,00

танционных манипуляторов выполняется процесс выделения <sup>99</sup>Mo из осколков деления <sup>235</sup>U).

В таблице 3 представлены результаты расчета наработки <sup>99</sup>Mo для НОУ- и ВОУ-мишеней на момент останова реактора.

В таблице 4 представлен радиохимический выход <sup>99</sup>Mo, который определяется как отношение расчетной и экспериментальной активностей на момент калибровки (41 ч после останова реактора).

**Эксперимент № 2**

Мишени с НОУ и ВОУ облучались в течение двух кампаний, как и в первом случае, в экспериментальном канале 8-9.

График облучения на ИЯУ ВВР-ц:

- 1) кампания № 1 – мощность реактора 10,90 МВт, время облучения – 115 ч;
- 2) кампания № 2 – мощность реактора 10,76 МВт, время облучения – 115 ч.

Таблица 5

**Технологические параметры эксперимента**

Эксперимент № 2	Режим работы реактора, мощность (МВт) / время облучения (ч)	Получено <sup>99</sup> Mo, Ки
Кампания № 1	10,90 / 115	43,3
Кампания № 2	10,76 / 115	

Таблица 6

**Экспериментальный и расчетный выход <sup>99</sup>Mo**

Тип мишени	Активность <sup>99</sup> Mo, Ки		Радиохимический выход <sup>99</sup> Mo, %
	Расчет	Эксперимент	
НОУ	325,80	43,30	13,30
ВОУ (стандартная переработка)	418,01	255,00	61,00

После останова реактора мишени находились на выдержке в экспериментальном канале для снятия остаточного энерговыделения и распада короткоживущих радионуклидов более 20 ч. После выдержки мишени были переданы на переработку в горячую камеру. Технологические параметры эксперимента для мишеней из НОУ представлены в табл. 5.

В таблице 6 представлены расчетная и экспериментальная активности  $^{99}\text{Mo}$  (на момент калибровки) для мишеней из низкообогащенного и высокообогащенного урана, показаны радиохимические выходы радионуклида для обеих мишеней.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО НАРАБОТКЕ И ВЫДЕЛЕНИЮ $^{99}\text{Mo}$ ИЗ НОУ

В результате испытаний  $^{99}\text{Mo}$  из мишени на основе низкообогащенного урана превышений по радионуклидной чистоте (отношение гамма-примесей к  $^{99}\text{Mo}$  при общей его активности на дату изготовления в пределах от 240 до 407 ГБк) не выявлено, но в растворе  $^{99}\text{Mo}$  присутствует радионуклидная пара  $^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}$ . В результате распада  $^{95}\text{Zr}$  происходит накопление  $^{95}\text{Nb}$  ( $T_{1/2} = 35$  суток). В результате распада  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  и накопления  $^{95}\text{Nb}$  конечный спектр выглядит следующим образом (рис. 2).

Полученным  $^{99}\text{Mo}$  было заряжено несколько молибден-технециевых генераторов ГТ-4К [10] активностью от 4 до 19 ГБк. При анализе элюата выявлено отклонение по параметру «химические примеси», а именно, превышение содержания марганца. Остальные параметры соответствуют требованиям ФСП (Фармакопей Статье Предприятия).

Из таблиц 4, 6 видно, что при двух экспериментах выход целевого радионуклида  $^{99}\text{Mo}$  (23,30 и 13,30% соответственно) существенно отличается от расчетных значений стандартной переработки (61%). Вероятно, на радиохимический процесс влияют наличие большого количества  $^{238}\text{U}$ , концентрация разбавителя  $\text{ZnO}$ , а также ряд иных факторов.

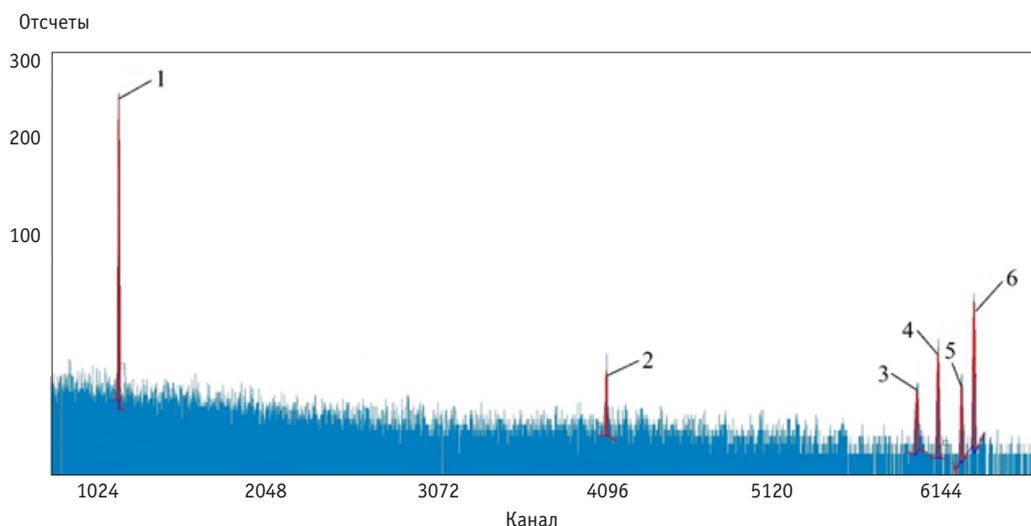


Рис. 2. Спектр раствора с  $^{99}\text{Mo}$ : 1 – пик  $\text{Tc-99m}$  (140,66 кэВ); 2 – пик  $\text{Ru-103}$  (496,96 кэВ); 3 – пик  $\text{Zr-95}$  (723,68 кэВ); 4 – пик  $\text{Mo-99}$  (739,06 кэВ); 5 – пик  $\text{Zr-95}$  (756,22 кэВ); 6 – пик  $\text{Nb-95}$  (765,30 кэВ).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базе АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» были проведены экспериментальные исследования по изучению возможности наработки и выделения  $^{99}\text{Mo}$  из НОУ-мишени.

Эксперименты с порошковой мишенью, содержащей НОУ, показали правильность нейтронно-физических, теплогидравлических и прочностных расчетов, которые были выполнены при обосновании безопасности облучения мишеней из НОУ в экспериментальных каналах реактора ВВР-ц, включая цикл из двух последовательных кампаний (отсутствие перегрева теплоносителя, механических изменений или разгерметизации мишени).

Продемонстрирована возможность применения существующей технологии для выделения  $^{99}\text{Mo}$ . Радионуклидная чистота раствора молибдата – натрия в целом удовлетворяет требованиям нормативной документации. Полученный  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  из молибден-технециевых генераторов ГТ-4К, в основном, удовлетворяет требованиям к элюату ФСП.

В связи с тем, что в настоящее время отсутствуют данные по коэффициентам экстракции, разделения и пр., однозначно невозможно перенести действующую технологию с имеющимися параметрами с ВОУ-мишени на НОУ-мишень из-за множества неопределенностей.

Для решения технологических проблем требуются экспериментальные работы по определению условий растворения мишени (рН среды, времени растворения, концентрации кислоты и пр.), условий экстракции (соотношение объема фаз и пр.), т.е. полноценная технологическая разработка процесса.

Существует потребность рассмотрения новой конструкции самой мишени – переход на мишень из одного урана, заключенного в барьерную оболочку.

### Литература

1. World Nuclear Association. Radioisotopes in Medicine. Электронный ресурс: <https://www.world-nuclear.org> (дата доступа 10.07.2022).
2. Молибден-99. Российское атомное сообщество. Электронный ресурс: [www.atomic-energy.ru](http://www.atomic-energy.ru) (дата доступа 12.07.2022).
3. Review of Potential Molybdenum-99/Techetium-99m Production Technologies. Nuclear Energy Agency. OECD. – 2010. – 74 p.
4. Non-HEU production technologies for molybdenum-99 and technetium- 99m. – Vienna: International Atomic Energy Agency. – 2013. – 75 p.
5. Муранка Р.Г. Перевод исследовательских реакторов на низкообогащенное урановое топливо. // Бюллетень МАГАТЭ. – Том 25 – № 1 – С. 20-24. Электронный ресурс: [https://www.iaea.org/sites/default/files/25105381821\\_ru.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/25105381821_ru.pdf) (дата доступа 20.07.2022).
6. Программа перевода гражданских исследовательских ядерных реакторов и мишеней для наработки молибдена-99 с ВОУ на НОУ. – М.: ГК «Росатом», 2012.
7. Зевякин А.С., Колесов В.В., Соболев А.В., Кочнов О.Ю. Возможность применения низкообогащенной мишени для получения  $^{99}\text{Mo}$  в исследовательском канале МАК-2 реактора ВВР-ц. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2022. – № 1. – С. 35-44. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2022.1.03>
8. Пахолик Д.А., Кочнов О.Ю., Чусов И.А., Колесов В.В. Расчетное исследование теплогидравлических характеристик блок-контейнеров для наработки  $^{99}\text{Mo}$ . // ВАНТ. Сер. Физика ядерных реакторов. – 2021. – Вып. 2. – С. 77-83. Электронный ресурс <http://nrcki.ru/files/pdf/VANT-2021-2.pdf> (дата доступа 20.03.2023).
9. Кочнов О.Ю., Пахолик Д.А., Никулин Е.В., Колесов В.В. Определение температурного коэффициента реактивности реактора ВВР-ц в рабочем диапазоне температур. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2022. – № 4. – С. 19-27. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2022.4.02>.
10. Генератор технеция-99m типа ГТ-4К. Электронный ресурс: <http://www.karpovipc.ru/index.php/2-uncategorised/75-generator-technecia-99t?ysclid=ln1x5ejee410024742> (дата доступа 20.08.2022).

Поступила в редакцию 22.03.2023

### Авторы

Кочнов Олег Юрьевич, главный инженер, д.т.н.,

E-mail: kochnov2000@mail.ru

Степанов Валерий Иванович, директор по развитию и производству, к.т.н.,

E-mail: vis5147@rambler.ru

Пахолик Денис Анатольевич, ведущий инженер-физик, аспирант,

E-mail: pakholikda@mail.ru

Колесов Валерий Васильевич, инженер 1 категории, к.ф.-м.н.,

Email: valeri-kolesov@yandex.ru

Никулин Евгений Валерьевич, инженер-физик 2 категории,

E-mail: jaki07@mail.ru

UDC 621.039

## Experience in the Production of $^{99}\text{Mo}$ from Low Enriched Uranium at the VVR-ts Research Nuclear Facility

Kochnov O.Yu., Stepanov V.I., Pakholik D.A., Kolesov V.V., Nikulin E.V.

Joint Stock Company «Karpov Institute of Physical Chemistry»

6 Kievskoye Sh., 249035 Obninsk, Kaluga region

### ABSTRACT

The key industrial method for producing  $^{99}\text{Mo}$  is production of the radionuclide as one of the  $^{235}\text{U}$  fission fragments.  $^{235}\text{U}$  is irradiated with neutrons in a nuclear reactor (both heterogeneous and homogeneous nuclear reactors can be used) and then processed in radiochemical laboratories, where  $^{99}\text{Mo}$  is chemically extracted from fission products.

Both highly enriched uranium (HEU) and low enriched uranium (LEU) can be used to produce  $^{99}\text{Mo}$  by the fragmentation method. To date, almost all world producers, with the exception of Russia, are either in the final stages of transferring production from highly enriched uranium to low enriched uranium, or are already producing  $^{99}\text{Mo}$  using LEU. This is due to the problems of non-proliferation of nuclear materials and the prevention of the likelihood of terrorist threats.

A number of experimental studies have been carried out on the basis of the VVR-ts research reactor. Experimental studies included the study of the effect of LEU targets on the reactivity reserve of the VVR-ts reactor, irradiation of these targets in experimental channels and separation of  $^{99}\text{Mo}$  from them.

The paper presents the results of producing and separating of  $^{99}\text{Mo}$  from targets with LEU material. It is shown that it is necessary to improve the processing technology to increase the production of fragmented  $^{99}\text{Mo}$  from LEU.

**Keywords:** fragmentation  $^{99}\text{Mo}$ , research reactor VVR-ts, highly enriched uranium, low enriched uranium, target for  $^{99}\text{Mo}$  production.

**For citation:** Kochnov O.Yu., Stepanov V.I., Pakholik D.A., Kolesov V.V., Nikulin E.V. Experience in the Production of  $^{99}\text{Mo}$  from Low Enriched Uranium at the VVR-ts Research Nuclear Facility. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2023, no. 4, pp. 111-118; DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2023.4.09>(in Russian).

REFERENCES

1. *World Nuclear Association. Radioisotopes in Medicine.* Available at: <https://www.world-nuclear.org> (accessed July 10, 2022).
2. *Molybdenum-99. Russian Nuclear Community.* Available at: [www.atomic-energy.ru](http://www.atomic-energy.ru) (accessed Jul. 12, 2022) (in Russian).
3. *Review of Potential Molybdenum-99/Techetium-99m Production Technologies.* Nuclear Energy Agency. OECD, 2010, 74 p.
4. *Non-HEU production technologies for molybdenum-99 and technetium-99m.* Vienna. International Atomic Energy Agency, 2013, 75 p.
5. R.G. Muranaka. Conversion of research reactors to low enriched uranium fuel. *IAEA Bulletin*. V. 25, no. 1, pp. 20–24. Available at: [https://www.iaea.org/sites/default/files/25105381821\\_ru.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/25105381821_ru.pdf) (accessed Jul. 20, 2022) (in Russian).
6. *Program for converting civilian nuclear research reactors and molybdenum-99 production targets from HEU to LEU.* Moscow. GK Rosatom Publ., 2012 (in Russian).
7. Zevyakin A.S., Kolesov V.V., Sobolev A.V., Kochnov O.Yu. Possibility for using a low enriched target to produce  $^{99}\text{Mo}$  in the MAK-2 research channel of the VVR-ts reactor. *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika*. 2022, no. 1, pp. 35–44. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2022.1.03> (in Russian).
8. Pakholik D.A., Kochnov O.Yu., Chusov I.A., Kolesov V.V. Computational study into thermal-hydraulic characteristics of container units for  $^{99}\text{Mo}$  production. *VANT. Ser. Fizika yadernykh reaktorov*. 2021, iss. 2, pp. 77–83 (in Russian).
9. Kochnov O.Yu., Pakholik D.A., Nikulin Ye.V., Kolesov V.V. Determining the temperature reactivity coefficient of the VVR-ts reactor in the operating temperature range. *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika*. 2022, no. 4, pp. 19–27. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2022.4.02> (in Russian).
10. *Technetium-99m generator of the GT-4K type.* Available at: <http://www.karpovipc.ru/index.php/2-uncategorised/75-generator-technecia-99t?ysclid=ln1x5ejee410024742> (accessed Aug. 20, 2022).

**Authors**

Oleg Yu. Kochnov, Chief Engineer, Dr. Sci. (Engineering),

E-mail: [kochnov2000@mail.ru](mailto:kochnov2000@mail.ru)

Valery I. Stepanov, Development and Production Director, Cand. Sci. (Engineering),

E-mail: [vis5147@rambler.ru](mailto:vis5147@rambler.ru)

Denis A. Pakholik, Leading Physical Engineer, Ph.D. Student,

E-mail: [pakholikda@mail.ru](mailto:pakholikda@mail.ru)

Valery V. Kolesov, Category I Engineer, Cand. Sci. (Phys. & Math.),

Email: [valeri-kolesov@yandex.ru](mailto:valeri-kolesov@yandex.ru)

Evgeny V. Nikulin, Category II Physical Engineer,

E-mail: [jaki07@mail.ru](mailto:jaki07@mail.ru)