

ОБ ОДНОЙ МОДЕЛИ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО ЧИСЛА ЗИП

А.П. Унщиков

*Обнинский государственный технический университет атомной энергетики,
г. Обнинск*



В статье рассматривается математическая модель оптимизации количества ЗИП на складе, который обслуживает некую подсистему АЭС. С помощью данной модели можно рассчитать необходимое количество закупаемых вновь на склад запасных элементов с учетом интенсивности отказов, восстановлений, стоимостей элементов и ремонта, а также вероятность неготовности системы. Проведен расчет для трех элементов СУЗ Билибинской АЭС.

На практике существуют различные сценарии обслуживания предприятия АЭС. Рассмотрим один из этих сценариев. Предположим, что существует склад запасных элементов оборудования АЭС. На склад с некоторой интенсивностью приходят заявки на запасные изделия для случаев отказа на любом из блоков АЭС. Для простоты будем рассматривать однотипные ЗИП с одинаковыми параметрами интенсивности отказов. Заявка на ЗИП исполняется в случае наличия на складе ЗИП, если же ЗИП не хватило, то считается, что наступила критическая ситуация и система отказала. Изделия, попавшие на склад, ремонтируются с некоторой интенсивностью восстановления изделий. Также должны быть известны стоимости замены изделия и стоимости восстановления. Требуется рассчитать оптимальное число запасных изделий на складе, при котором будет минимум потерь на закупку новых ЗИП и восстановление отказавших.

В опубликованных работах рассмотрены различные математические модели определения оптимального состава ЗИП.

В [1] рассмотрена модель поиска оптимальной стратегии управления запасами на предприятии. Расчетный период работы предприятия разбивается на несколько интервалов, в которых производятся плановые пополнения склада единицами товара. Модель позволяет найти необходимое количество товара для пополнения с учетом прошлых закупок и оставшихся на складе единиц товара. Смысл модели состоит в поиске максимума функции средней прибыли на каждом из интервалов разбиения периода эксплуатации предприятия. Функция прибыли опре-

деляется как $F\left[\sum_{i=1}^n (pS_i - cT_i)\right]$, где T_i – число имеющихся на складе единиц товара на i -м шаге, S_i – число востребованных единиц товара на i -м шаге, p – цена реализованной единицы товара, c – стоимость закупленной на склад единицы товара. Данная модель не учитывает возможность ремонта комплектов ЗИП.

В [2] рассмотрен метод расчета надежности системы, обладающей запасными элементами с известными интенсивностями отказов и восстановлений. В основе метода лежит модель марковского процесса «гибели и размножения».

В [3] рассмотрена модель расчета характеристики надежности системы (коэффициент готовности, вероятность отказа из-за отсутствия запасных элементов) и необходимого количества запасных элементов, обеспечивающих работу системы с заданным уровнем работоспособности. В статье рассмотрены две схемы функционирования системы: система с n запасными элементами и мажоритарная схема «2 из 3». Модель не учитывает стоимости оборудования и ремонта.

В [4] рассмотрена модель расчета оптимального состава ЗИП для системы с одним элементом с учетом стоимостей закупки элемента, ремонта, затрат на замену и потерь в случае простоя. Оптимальное число ЗИП рассчитывается для заданного уровня безотказной работы.

В [5] рассмотрены модели обеспечения систем запасными элементами с различными схемами резервирования. Как правило, любую практически используемую систему ЗИП можно построить из следующих комплектов. Одиночный комплект ЗИП придается непосредственно объекту с целью обеспечения его надежности при длительном использовании. Групповой комплект ЗИП придается группе объектов для пополнения одиночных комплектов в случае их использования. Ремонтный комплект ЗИП передается ремонтному органу (РО) с целью обеспечения его работоспособности. Функционирование РО заключается в устранении отказов в неисправных элементах. Производится расчет показателей достаточности ЗИП. Также рассмотрены задачи оптимального проектирования системы ЗИП.

В [6] рассмотрены различные модели оптимизации ЗИП на примере предприятий автопромышленности и торговли автозапчастями. Данные модели можно применять и в области обеспечения ЗИП предприятий отрасли атомной энергетики. В работе рассматриваются экономические факторы обеспечения предприятия ЗИП, а именно, транспортные расходы, расходы на хранение, расходы на ремонт, заработная плата персонала и другие.

Данные модели оптимизации имеют естественные ограничения в применении, потому что разрабатывались под конкретную стратегию обслуживания. Кроме этого, они в ряде случаев могут быть упрощены или развиты до моделей, в которых будет учтено, по возможности, большинство наиболее важных с экономической точки зрения показателей. В связи с этим, а также по причине вновь возникающих стратегий обслуживания сложных систем и возникает необходимость в разработке новых математических моделей и методов управления запасом на предприятии. Одной из таких моделей посвящена данная статья.

Предположим, что отказы элементов происходят с интенсивностью λ_0 , а восстановление – с интенсивностью μ_0 . Допустим, что мы имеем склад из n запасных элементов. Стоимость замены равна x , стоимость ремонта равна y . Заказ на обслуживание со склада происходит тогда, когда происходит отказ. В системе одновременно может работать k однотипных элементов. Следовательно, общая интенсивность отказов в системе равна $\lambda = k\lambda_0$. Некоторые отказавшие элементы могут быть не пригодны для ремонта. Чтобы учесть данный факт введем в модель коэффициент ремонтпригодности элемента k . Итоговая интенсивность восстановлений $\mu = k\mu_0$. Состояние i , 0 характеризует работу системы, когда ЗИП хватает. Если запасных изделий не хватает, то мы приходим в состояние i, j , где $j > 0$. Таким образом, получаем модель, с помощью которой можно рассчитывать оптимальное количество запасных изделий на складе.

Имеем систему массового обслуживания, граф которой изображен на рис. 1. Состояние i, j означает, что i элементов отказало и находится на обслуживании, а j запасных элементов в данный момент не хватает для функционирования системы. Таким образом, граф СМО выглядит следующим образом

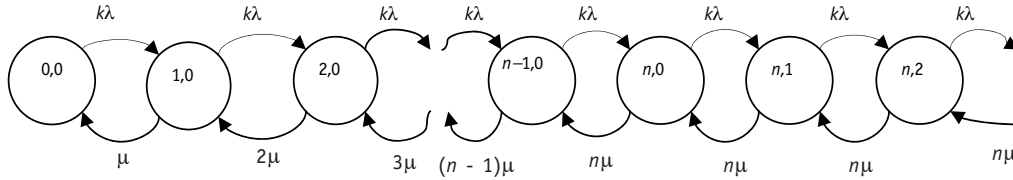


Рис. 1. Граф функционирования системы

Имеем систему уравнений

$$\begin{cases} -\lambda P_{0,0} + \mu P_{1,0} = \frac{dP_{0,0}}{dt} \\ \lambda P_{0,0} - (\lambda + \mu) P_{1,0} + 2\mu P_{2,0} = \frac{dP_{1,0}}{dt} \\ \dots \\ \lambda P_{n-2,0} - (\lambda + (n-1)\mu) P_{n-1,0} + n\mu P_{n,0} = \frac{dP_{n-1,0}}{dt} \\ \lambda P_{n-1,0} - (\lambda + n\mu) P_{n,0} + n\mu P_{n,1} = \frac{dP_{n,0}}{dt} \\ \lambda P_{n,0} - (\lambda + n\mu) P_{n,1} + n\mu P_{n,2} = \frac{dP_{n,1}}{dt} \\ \dots \end{cases}$$

Допустим, что система массового обслуживания находится в стационарном

режиме, т.е. $\frac{dP_{i,j}}{dt} = 0$, тогда $P_{0,0} = \left(a_n + \frac{q^n}{n!} \frac{q/n}{1 - q/n} \right)^{-1}$, где $q = \lambda/\mu$, $a_n = \sum_{i=0}^n \frac{q^i}{i!}$. Осталь-

ные значения вероятностей выражаются через $P_{0,0}$. Обозначим $p = P_{0,0}$.

Таким образом, мы нашли вероятности нахождения системы во всех возможных состояниях. Для нахождения оптимального числа ЗИП введем функцию риска. Обозначим риск через ξ , тогда функция риска будет иметь следующий вид:

ξ	$-nx$	$-nx - y$	$-nx - 2y$	$-nx - 3y$	\dots
P_ξ	$\sum_{i=1}^n P_{i,0}$	$P_{n,1}$	$P_{n,2}$	$P_{n,3}$	\dots

Найдем математическое ожидание ξ , т.е. средний риск и будем максимизировать его в зависимости от числа ЗИП. Так мы найдем их оптимальное количество. Математическое ожидание ξ равно

$$M\xi = nxpa_n - nxp \frac{q^n}{n!} \frac{q/n}{1 - q/n} - yp \frac{q^{n+1}}{n^2 n!} \frac{1}{\left(1 - q/n\right)^2}.$$

Задача оптимизации в данном случае ставится следующим образом:

$$M\xi_n^{\max}.$$

Поскольку оптимизируемая функция всегда принимает отрицательные значения, умножим ее на минус единицу для удобства представления и будем минимизировать, т.е.

$$-M\xi_n^{\min}.$$

Рассмотрим поведение функции риска при различных входных параметрах модели. Обозначим через z отношение стоимости замены к стоимости ремонта, т.е. $z = x/y$. Очевидно, что данное соотношение должно быть больше единицы, иначе нет смысла осуществлять ремонт элементов, т.к. он будет обходиться дороже, чем замена. Графики функции риска для различных z представлены на рис. 2. В качестве z были взяты значения 2, 5, 10, 20.

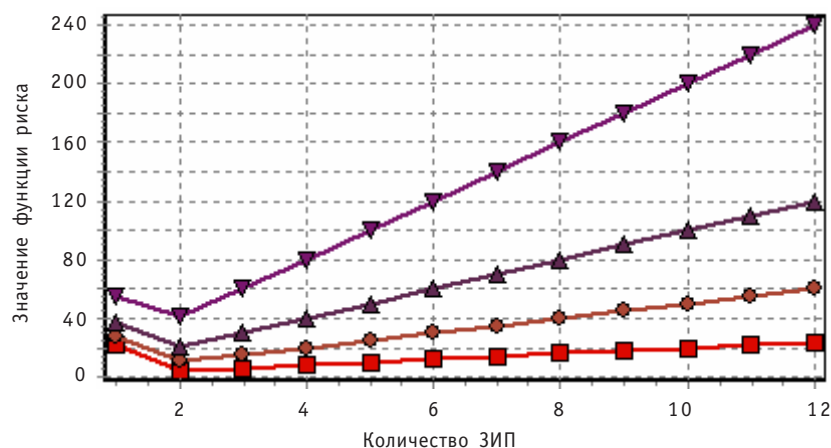


Рис. 2. Графики функции риска: ■ – $z=2/1$; ● – $z=5/1$; ▲ – $z=10/1$; ▼ – $z=20/1$

Как видно из графика функция риска имеет минимум. Значение количества ЗИП, при которых достигается минимум, и будет оптимальным количеством ЗИП.

Рассмотрим теперь поведение модели при различных отношениях интенсивности отказа к интенсивности восстановления, меняя при этом отношение стоимости замены к стоимости восстановления. Для этого построим график зависимости оптимального количества запасных изделий от отношения интенсивности отказа к интенсивности восстановления при различных отношениях стоимости замены к стоимости восстановления. Полученные графики изображены на рис. 3.

Из данных графиков видно, что при увеличении стоимости замены уменьшается оптимальное количество запасных изделий, потому что их покупать невыгодно. Также видно, что чем меньше отношение интенсивности отказов к интенсивности восстановления, тем меньше оптимальное число ЗИП. Это объясняется тем, что если интенсивность ремонта элементов оборудования много больше, чем интенсивность отказов, то невыгодно закупать на склад большое число ЗИП. Если же интенсивности отказов и восстановлений сопоставимы, то на складе необходимо иметь достаточное количество ЗИП.

Найдем вероятность неготовности системы. Данная система находится в состоянии неготовности в случае отказа последнего элемента и отсутствии на складе ЗИП. Состояния неготовности обозначены в графе индексами $0, j$, где $j > 0$. Рассчитаем вероятность нахождения в этом состоянии:

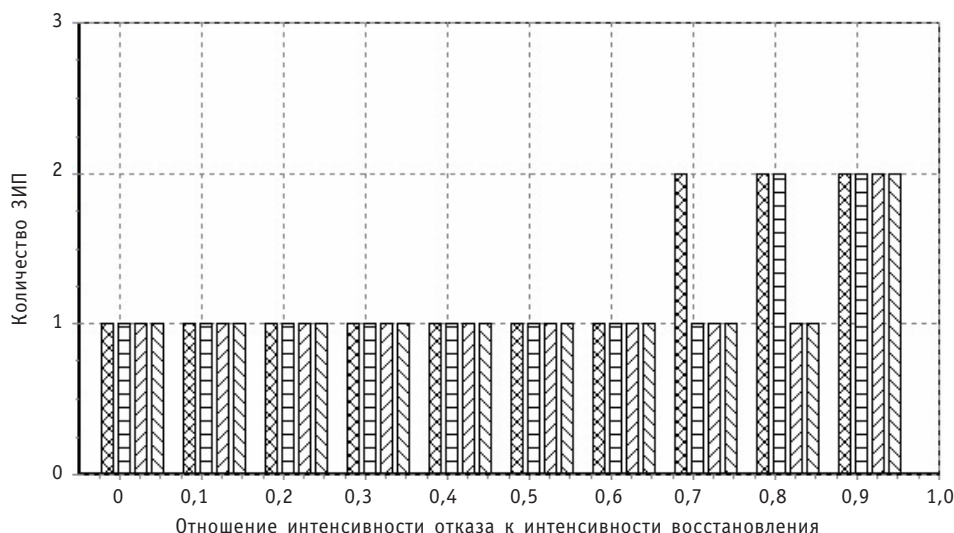


Рис. 3. Диаграммы зависимости количества запасных изделий от отношения интенсивности отказа к интенсивности восстановления при различных отношениях стоимости замены к стоимости восстановления: – $z=2/1$; – $z=5/1$; – $z=10/1$; – $z=20/1$

$$\left(a_n + \frac{q^n}{n!} \frac{q/n}{1-q/n} \right)^{-1} \frac{q^n}{n!} \frac{q/n}{1-q/n}.$$

Проведем расчеты оптимального числа ЗИП по разработанной модели для элементов СУЗ Билибинской АЭС, а именно, для КНК-53 (камера нейтронная, компенсирующая), КНК-56 и БРТЭ АР (блок релейно-транзисторных элементов автоматического регулятора). Для данных элементов существует статистика по отказам за 33 года. В качестве интенсивностей отказов возьмем средние и максимальные интенсивности отказов этих элементов. Коэффициент ремонтпригодности к прием равным 0,5. Также будем предполагать, что интенсивность ремонта равна $\mu_0 = 52$, т.е. ремонт происходит в среднем за одну неделю. Стоимость единицы ЗИП $x = 10$ у.е., стоимость ремонта $y = 1$ у.е. Рассчитанное оптимальное число ЗИП по всем элементам при выбранных значениях параметров равно единице. При таком числе ЗИП можно рассчитать вероятность неготовности, т.е. нахождение СМО в состоянии очереди в случае нехватки ЗИП. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Вероятность неготовности элементов СУЗ

Элемент	Рассчитанная интенсивность отказов		Количество одновременно работающих элементов	Требуемое количество ЗИП	Вероятность неготовности
БРТЭ АР	Средняя	0,1818	8	1	1,33E-03
	Максимальная	0,875		2	4,30E-03
КНК-53	Средняя	0,1294	48	1	6,9252E-04
	Максимальная	0,6667		2	2,8103E-01
КНК-56	Средняя	0,1458	16	1	9,2200E-04
	Максимальная	0,6875		2	1,5788E-02

Анализируя результаты расчетов, можно отметить увеличение оптимального числа ЗИП с единицы до двух при максимальной интенсивности отказов. Кроме того, можно заметить достаточно высокую вероятность неготовности. Поэтому в дальнейшем имеет смысл включить в критерий оптимизации этот показатель надежности.

Конечно, во многом эти результаты являются условными, поскольку экономические показатели не соотносились с аналогичными практическими показателями. В данном контексте автор не ставил перед собой задачу корректной оценки этих экономических характеристик.

Литература

1. *Де Гроот М.* Оптимальные статистические решения. – М.: Мир, 1974. – 491 с.
2. Справочник по общим моделям анализа и синтеза надежности систем энергетики / *Под ред. Ю.Н. Руденко.* – М.: Энергоатомиздат, 1994.
3. *Антонов А.В., Пляскин А.В.* Расчет показателей надежности систем с ограниченным количеством запасных элементов / Диагностика и прогнозирование состояния объектов сложных информационных интеллектуальных систем: Сб. науч. тр. №13 каф. АСУ / *Под ред. В.А. Острейковского.* – Обнинск: ИАТЭ, 1999. – С. 27-33.
4. *Антонов А.В., Пляскин А.В., Чепурко В.А.* Оптимизация количества запасных элементов с учетом экономического фактора на примере элементов СУЗ БиАЭС / Диагностика и прогнозирование состояния объектов сложных информационных интеллектуальных систем: Сб. науч. тр. №14 каф. АСУ / *Под ред. В.А. Острейковского.* – Обнинск: ИАТЭ, 2001. – С. 5-8.
5. Надежность технических систем: Справочник / *Под ред. И.А. Ушакова.* – М.: «Радио и связь», 1985.
6. *Рыжиков Ю.И.* Теория очередей и управления запасами. – СПб.: Питер, 2002. – 384 с.

Поступила в редакцию 16.07.2008

shift rigidity (Timoshenko S.P.'s beam) is developed. On the basis of the calculations spent within the limits of this model with use of experimentally received non-stationary hydrodynamic loadings possibility of excitation of intensive vibrations in area of a fuel rods beam close to the bottom basic lattice is shown. Experimental data on vibrations displacements of a fuel rods beam will well be coordinated with settlement values that confirms justice offered.

УДК 621.039.548

Effective Heat Conductivity of Rod and Tube Bundles with Random Deviation from Regular Lattice \ V. Fedotovskiy, A. Orlov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 8 pages, 12 illustrations. – References, 8 titles.

Effective heat conductivity of rod and tube bundles is one of thermophysical properties necessary for calculation of thermo hydraulic characteristics of heat producing devices, heat exchange devices and steam generators. This report introduces results of mathematical modeling of effective heat conductivity of transversally anisotropic rod bundles in solid conductive medium formed by cylindrical rods in rectangular and triangular grids compressed or stretched in heat flow direction. Similar numerical modeling was performed for anisotropic bundles of elliptic cylinders and also for disperse-armed materials with spherical and ellipsoidal inclusions. On the basis of quite precise numerical solutions of stationary heat conductivity problems in representative cells by finite elements method dependencies for components of effective heat conductivity tensor in principal axes were received and comparison with formulas received analytically for heterogeneous mediums of various structure was performed. Effective heat conductivity of rod bundles with random deviation from regular grid was also considered. Deviation values were set as deviation matrix that was randomly generated by the normal distribution software randomizer. As a result of comparison limits of application of various analytic formulas and methods of their specification were determined.

УДК 621.039.56

Optimization of a Network Diagrams for Replacement of Steam- and Gas Generators of NPP with VVER-1000 using the Method of Nonlinear Mathematical Programming \ N.I. Yevzhik, A.N. Sesekin, O.L. Tashlykov, S.Ye. Sheklein, A.A. Kadnikov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 7 pages, 1 table, 3 illustrations. – References, 5 titles.

Ways of time reduction of replacement of steam and gas generators nuclear energy station with VVER-1000 are shown. Necessity of time minimization of the power unit is proved. Development of algorithm and the program settlement a critical way and optimization of the network diagram on replacement of four steam and gas generators is described. The example of time replacement optimization generators is given.

УДК 621.039.548

A Method to estimate efficiency of a nuclear power unit capacity maneuver algorithm for the case of WWER reactors \ M.V. Maksimov, S.N. Pelykh, O.V. Maslov, V.E. Baskakov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 12 pages, 5 tables, 4 illustrations. – References, 7 titles.

A nuclear power unit capacity maneuver algorithm efficiency estimation technique for a WWER reactor working in the mode of variable loadings is offered. It is shown, that fuel rod cladding material operation time under multiple cyclic nuclear reactor power changes can be estimated by calculation of the accumulated energy of irreversible cladding material creep deformations.

УДК 621.039

About an Optimal SPTE Number Search Model \ A.P. Unshchikov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 6 pages, 2 tables, 3 illustrations. – References, 6 titles.

This paper considers the mathematical optimization model of an SPTE number search at a storage facility of some NPP subsystem. This model can help to calculate a number of SPTE to be bought with

account of a failure rate, a repair rate, a cost of SPTE and their repair. Also the model helps to compute probability of system unavailability. Calculation for three CPS elements of Bilibino NPP was made.

УДК 621.039.556

Neutron Beam Optimization for Tumor Therapy with Importance Functions use \V.N. Kononov, A.V. Korobeynikov, V.V. Korobeynikov, O.E. Kononov, N.F. Soloviev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 11 pages, 8 illustrations. – References, 8 titles.

Calculation study has been carried out to analyze the optimal structure of neutron source for cancer tumor treating. The special approach based on so called importance functions was developed. Optimum energy distribution of a neutron beam for patient radiation depends on a malignant tumor disposition in a patient body. It is necessary to define such a neutron specter which produces the maximal harm for malignant tumor tissue and the minimal for the healthy tissue with dependence of the tumor size and depth disposition. The special approach based on so called importance functions was developed.

УДК 621.039.5

Detection of Fissile Materials in Installations with Pulsed Neutron Sources and Digital Signal Processing \V.L. Romodanov, I.V. Mukhamadyarov, A.G. Belevitin, V.V. Afanasiev, V.K. Sakharov, D.N. Chernikova; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 8 pages, 4 illustrations. – References, 7 titles.

Implementation of customs installations for the detection of fissile materials (FM) in baggage is related to one of the basic problems of their revealing, that is when FM are deliberately shielded. In devices with pulsed neutron sources, it is practically impossible to conceal FM with a lead shield; however, in such devices, thermal neutrons are used, and therefore FM can be concealed with shields having large thermal neutron absorption cross-section, for example, those of cadmium. The grounds for the feasibility of a customs FM control installation are given by the results of the experiments under ISTC Project No.596 on detection of ^{235}U in a model with graphite neutron moderator and digital discrimination of neutrons and photons in a PSD scintillator. The model represented a graphite parallelepiped of $1300 \times 1300 \times 1200 \text{ mm}^3$ in size with an inner chamber of $500 \times 500 \times 1200 \text{ mm}^3$. A FM sample being inspected and a scintillation measuring system with a stilbene crystal were placed inside the chamber. A complex of four experiments was carried out, considering the following cases: uranium present in the model, uranium surrounded with a cadmium shield, the cadmium shield without uranium, and absence of all indicated materials. The analysis of the experimental results has shown the detectability of uranium concealed with a cadmium shield owing to the fission of ^{235}U on neutrons with energies above the resonance in the cadmium absorption cross-section. These neutrons are present in the graphite model at ~ 150 microseconds after a pulse of fast neutrons from the source. It has been shown that in case of appropriate choice of the energy threshold of FM response detection, it is possible to obtain practically zero photon background, which determines high sensitivity of the installation. Under these conditions, the discrimination of neutrons and photons in the time dependences is possible under loads on the scintillation channel up to $5 \cdot 10^5$ particles per second. Analysis of the results of the experiment shows that 5-7 s suffice to detect ~ 10 grams of ^{235}U in a cadmium shield, at a yield of a DD neutron source equal to $\sim (10^7 - 5 \cdot 10^7)$.

УДК 539.1: 621.039

The Branching Ratio Change in the Reaction $^7\text{Li}(\alpha, \alpha)^7\text{Li}^$ with the Formation of the Near-Threshold $^7\text{Li}^*(7.45 \text{ MeV})$ Resonance under the Influence of the Coulomb Field of the Accompanying Particle* \I.A. Tyras; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 8 pages, 1 illustration. – References, 17 titles.

The influence of the Coulomb field of the accompanying particle on the branching ratio is studied for the case of the near-threshold resonance $^7\text{Li}^*(7.45 \text{ MeV})$ forming in the reaction $^7\text{Li}(\alpha, \alpha)^7\text{Li}^*$ at $E_\alpha = 27.2 \text{ MeV}$.