

РАСЧЕТ КОНТРОЛЬНЫХ И ДОПУСТИМЫХ УРОВНЕЙ РАДИАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА КОРАБЛЯХ С ЯДЕРНЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ

¹В. И. Жабрунов, ¹А. А. Керн, ¹А. С. Тазов, ²В. В. Куташов

¹Научно-исследовательский институт кораблестроения и вооружения Военно-Морского Флота Военного учебно-научного центра Военно-Морского Флота «Военно-морская академия им. Н. Г. Кузнецова», Санкт-Петербург, Россия

²Главное командование Военно-Морского Флота, Санкт-Петербург, Россия

© Коллектив авторов, 2019 г.

В соответствии с требованиями нормативных и руководящих документов по радиационной безопасности для контролируемых радиационных факторов с целью оперативного контроля устанавливаются контрольные и допустимые уровни. Любое превышение этих уровней требует выяснения причин превышения и выполнения мероприятий по его устранению. В статье рассмотрен порядок их расчета и установления в настоящее время на практике и анализируются недостатки принятого регламента. Показано, что в действующих документах не учитываются некоторые обстоятельства, которые определяют порядок проведения радиационного контроля. В ряде точек контроля, по результатам измерения в которых проводится контроль радиационной обстановки и определяются дозы облучения персонала, значения контролируемых параметров не зависят от режима работы реакторной установки. В тех же точках контроля, в которых проявляется зависимость результатов измерений от уровня мощности реактора, значения контролируемых параметров могут зависеть еще и от режима работы насосов и системы очистки. Кроме того, анализ результатов реальных измерений, показал, что и за пределами нижнего предела диапазона измерения средств контроля в области с ненормируемой погрешностью, разброс результатов измерений вполне удовлетворительно описывается средним значением и приемлемой погрешностью. При этом среднее значение может располагаться на порядок ниже нижнего предела диапазона измерения. Если задать значение контрольного уровня равным сумме среднего с удвоенным или утроенным среднеквадратичным отклонением в зависимости от принятого уровня доверительной вероятности, то появляется возможность более раннего обнаружения выхода контролируемого параметра за установленный предел. В рассматриваемой ситуации точное знание абсолютного значения контролируемого фактора не важно, потому что такой уровень радиационного фактора особой опасности не представляет. Важно зафиксировать тот момент, когда достоверно начнется возрастание контролируемого параметра, то есть начнется изменение радиационной обстановки.

Ключевые слова: морская медицина, допустимый уровень, контрольный уровень, радиационная безопасность, радиационный контроль, эффективная доза

CALCULATION OF CONTROL AND ACCEPTABLE LEVELS OF RADIATION FACTORS FOR NUCLEAR PROPULSIONS

¹B. I. Zhabrunov, ¹A. A. Kern, ¹A. S. Tazov, ²B. V. Kutashov

¹Ship-building and Armament Research Institute of the Navy of the Military Educational and Scientific Center «N. G. Kuznetsov Naval Academy», St. Petersburg, Russia

²Major Command of the Navy, St. Petersburg, Russia

In accordance with requirements of regulatory and guideline documents on radiation safety for controlled radiation factors for the purposes of operating control, controlled and acceptable levels are established. Any excess of these levels requires the determination of the causes and implementation of actions designed to eliminate the excess. The paper presents the method of calculation of these levels and establishing the levels in practice at the present time, disadvantages of accepted regulations are analyzed. It was shown that existing documents do not take into account some circumstances that define the radiation safety test procedure. In a number of measured control points of the radiological situation and staff radiation exposure, the values of controlled parameters are independent of reactor system mode. In the same points that show the

dependence of measured data on a reactor power level, values of controlled parameters may also depend on a mode of pumps and purification system. Furthermore, real-time measurements review has showed that beyond the range of lower limit of measuring range of verification means in the range with nonspecified error; the measured data variance is described by mean value and acceptable error. At the same time, a mean value may be a lower order to lower limit of measuring range. Setting a value of controlled level equal to a sum of a mean of double or tripled root-mean-square deviation depending on the accepted confidence level, a possibility of earlier detection of controlled level excess emerges. In this situation, an exact absolute value of a controlling parameter is not essential as that radiation factor level poses no hazard to life. It is important to capture the onset of significant increase of radiation factor i.e. change of radiological situation.

Key words: marine medicine, acceptable level, controlled level, radiological safety, radiation control, effective dose

Для цитирования: Жабрунов В. И., Керн А. А., Тазов А. С., Куташов В. В. Расчет контрольных и допустимых уровней радиационных факторов на кораблях с ядерными энергетическими установками // *Морская медицина*. 2019. № 2. С. 76–82, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2019-5-2-76-82>.

Введение. В руководящих документах Военно-Морского Флота, определяющих организацию и порядок обеспечения радиационной безопасности (РБ) на радиационных объектах ВМФ, предусмотрено использование двух видов уровней — *контрольного* и *допустимого*. Определения понятий контрольного (КУ) и допустимого (ДУ) уровней в этих документах не даны, но по порядку расчета и использования их суть можно изложить следующим образом.

Под КУ следует понимать значение контролируемого радиационного фактора в точке контроля, характерное для условий нормальной эксплуатации источников ионизирующих излучений (ИИ) и по этой причине используемое для оперативного выявления аномального ухудшения радиационной обстановки (РО). В качестве КУ индивидуальной годовой эффективной дозы принимается значение годовой эффективной дозы, которую получает специалист ежегодно при условии нормальной эксплуатации источников ИИ. Постоянство этих уровней во времени характеризует уровень обеспечения РБ на радиационном объекте, в нашем рассмотрении — на корабле с ядерной энергетической установкой (ЯЭУ).

Проектирование и строительство корабельной реакторной установки (РУ) ведется таким образом, чтобы дозовые нагрузки личного состава, занятого ее обслуживанием, в соответствии с требованиями НРБ-99/2009 не превышали основного предела дозы (ОПД), численно равного 20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год. В соответствии с требованиями Правил ОСПОРБ 99/2010 проектирование защиты РУ проводится с коэффициентом запаса по годовой эффективной дозе не менее 2. Фактически обеспеченное значение

годовой эффективной дозы специалистов (по каждой специальности), занятых обслуживанием РУ, определяется на этапе приемки корабля. Это значение в дальнейшем используется в качестве КУ дозовой нагрузки. Оно всегда оказывается меньше ОПД (в противном случае биологическая защита будет признана не отвечающей требованиям РБ со всеми вытекающими при этом последствиями). Разность между фактическим значением годовой эффективной дозы и ОПД представляет запас по дозе, в пределах которого возрастание радиационных факторов в местах облучения личного состава может быть признано допустимым. Уровни радиационных факторов, отвечающие этому условию, и являются допустимыми уровнями.

Материалы и методы. Порядок расчета и установления уровней КУ и ДУ в руководящих документах Военно-Морского Флота не изложен в виде четкого регламента расчета с указанием используемых для этого формул, а дан в виде следующих рекомендаций:

— значения контрольных уровней устанавливаются таким образом, чтобы было гарантировано не превышение основных пределов доз и реализовывался принцип снижения уровней облучения до возможно низкого уровня. Допускается устанавливать контрольные уровни **численно равными нижнему порогу чувствительности** штатной аппаратуры радиационного контроля, применяемой на радиационном объекте;

— в качестве контрольного уровня радиационного фактора принимается **среднее его значение из серии измерений (определений), увеличенное на значение погрешности измерения или расчета;**

— контрольные уровни мощности дозы (плотности потока частиц) гамма- и нейтрон-

ного излучения при работающей ЯЭУ устанавливаются для условий работы реактора **на 30% мощности номинальной, а также пересчитываются линейно на 100% мощность.**

— в качестве допустимых уровней мощности дозы гамма- и нейтронного излучения или объемной активности аэрозолей принимаются **значения контрольного уровня... деленные на значение отношения контрольного предела эффективной дозы к основному пределу...** для наиболее облучаемой профессиональной группы личного состава.

Необходимость остановиться на более подробном рассмотрении регламента установления КУ и ДУ, являющихся важными критериями при принятии решений по обеспечению РБ при штатном режиме эксплуатации источников ИИ, обусловлена следующими обстоятельствами. Как представляется, рекомендация использовать в качестве КУ не среднее значение радиационного фактора, под воздействием которого формируется реальная доза облучения, а некую виртуальную величину (среднее значение, увеличенное на погрешность измерения), искажает практический смысл этого показателя: в реальности в точке контроля реализуется один уровень ИИ, а для контроля над ним предлагается использовать некий завышенный. К чему это приводит на практике, будет показано ниже.

Результаты и их обсуждение. Анализ результатов радиационного контроля (РК), полученных в последнее время, позволил выявить ряд существенно важных обстоятельств [1, с. 367–375; 2, с. 485–488], которые не учтены в ныне действующих документах, определяющих порядок проведения РК на объектах ВМФ. Кратко их суть сводится к следующим положениям:

— в ряде точек контроля, по результатам измерения в которых проводится контроль РО и определяются дозовые нагрузки корабельных специалистов, значения контролируемых параметров не зависят от режима работы корабельной РУ;

— в тех же точках контроля, в которых проявляется зависимость результатов измерений (показаний) от уровня мощности реактора, значение контролируемого параметра может зависеть еще и от режима работы циркуляционных насосов первого контура (ЦНПК) и системы очистки теплоносителя первого контура (СОПК). Наличие такой зависимости проявляется в том, что при одном и том же уровне

мощности реактора в точке контроля формируются уровни радиационных факторов, различающиеся в крайних случаях в разы.

И, наконец, необходимо сделать несколько важных замечаний относительно парка применяемых средств РК и регламента их использования. Для оперативного контроля РО в помещениях кораблей с ЯЭУ используются корабельные системы контроля, осуществляющие в автоматическом режиме постоянный контроль за радиационными факторами в реакторном и смежных с ним отсеках в течение всего периода работы корабельной РУ. Однако из-за ограниченного числа каналов РК в системах контроля объем этого контроля невелик. Практически на отдельные помещения отводится не более одного канала контроля на каждый контролируемый параметр. Оперативный контроль дополняется периодически проводимым контролем, осуществляемым с помощью переносных средств РК в гораздо большем объеме. Количество точек контроля, в которых проводятся измерения с помощью переносных средств РК, существенно больше количества каналов РК в корабельных системах. Точки контроля располагаются в районах боевых постов, на маршрутах следования личного состава, в местах проведения работ по штатным расписаниям. В этой связи результаты периодического контроля более детально отражают реальную РО на корабле. Однако измерения с помощью переносных средств РК проводятся периодически и при строго фиксированных режимах работы РУ:

— заданный уровень мощности (30% N_{nom} или 50% N_{nom});

— режим работы насосов ЦНПК (на малой или большой скоростях);

— режим работы системы СОПК (включена или выключена).

По результатам измерений, полученным таким образом, не представляется возможным установить характер реальной зависимости контролируемых радиационных факторов при всех возможных режимах работы РУ.

Важным обстоятельством, которое надо иметь в виду, является и то, что в ряде точек контроля уровни контролируемых параметров лежат за пределами диапазона измерения применяемых средств РК (блоков детектирования систем контроля, отдельных радиометров): в ряде случаев результат измерения оказывается на порядок меньше значения нижнего предела диапазона измерения (НПДИ). С одной стороны, этот

факт является свидетельством эффективности биологической защиты РУ, обеспечивающей снижение уровней полей гамма и нейтронного излучений до минимальных значений, и это хорошо. С другой стороны, поскольку значительная часть результатов оказывается в области с ненормируемой погрешностью, такую ситуацию вроде бы следует рассматривать как неблагоприятную с точки зрения предаварийного контроля. Однако это не совсем так. Анализ результатов реальных измерений, хранящихся в архивах систем контроля, показал, что и за пределами диапазона измерения разброс результатов измерений вполне удовлетворительно описывается средним значением и вполне приемлемой с практической точки зрения погрешностью [1, с. 370]. При этом среднее значение может располагаться на порядок, а то и более, левее НПДИ. Если задать значение КУ равным сумме среднего с удвоенным или утроенным среднеквадратичным отклонением (СКО) в зависимости от принятого уровня доверительной вероятности, то появляется возможность более раннего обнаружения (значительно более раннего и с заданной достоверностью!) выхода контролируемого параметра за установленный предел, чем в случае принятия значения НПДИ в качестве КУ. Действительно, в рассматриваемой ситуации нас особо не интересует точное знание абсолютного значения контролируемого фактора, поскольку такой уровень радиационного фактора особой опасности не представляет. Нам важно зафиксировать тот момент, когда достоверно начнется **возрастание** контролируемого параметра, а с какого именно абсолютного уровня — неважно.

Обращаясь к ранее приведенным рекомендациям, нетрудно увидеть, что они сформулированы без учета рассмотренных выше особенностей объектов контроля и средств, применяемых для контроля РО. Действительно, словесная рекомендация по расчету численного значения допустимого уровня для i -ой точки контроля ($ДУ_i$) может быть представлена в виде формулы:

$$ДУ_i = \frac{КУ_i}{\frac{КУ_{доз}}{ОПД}}, \quad (1)$$

где $КУ_i$ — значение контрольного уровня в i -й точке контроля; $КУ_{доз}$ — значение контроль-

ного уровня годовой эффективной дозы наиболее облучаемого специалиста; ОПД — основной предел годовой эффективной дозы в соответствии с НРБ-99/2009.

С учетом рекомендаций по определению значений КУ выражение (1) можно записать в виде:

$$ДУ_i = (Rcp_i + \Delta R) \times \frac{ОПД}{D_{eff} + \Delta D}, \quad (2)$$

где Rcp_i — среднее значение контролируемого параметра в i -й точке контроля; ΔR — погрешность измерения контролируемого параметра; D_{eff} , ΔD — значение годовой эффективной дозы наиболее облучаемого специалиста и погрешность ее расчета соответственно. Не вдаваясь в подробности, заметим, что доза D_{eff} в общем случае является функционалом, зависящим от мощности дозы (плотности потока) ИИ в точках, где облучается специалист (Rcp_i), их количества (I), условий облучения, характеризующихся временем облучения в условиях изотропной t_s^{is} и передне-задней t_s^{pz} геометрии облучения и соответствующих дозовых коэффициентов (d_{is} , d_{pz}), т.е. $D_{eff} = f(Rcp_i, I, t_s^{is}, t_s^{pz}, d_{is}, d_{pz})^1$.

При рассмотрении выражения (2), нетрудно заметить, что погрешности расчета эффективной дозы и погрешности измерения влияют разнонаправленно на значение ДУ: привлечение в расчет погрешности измерения ΔR приводит к завышению ДУ, а погрешности расчета дозовой нагрузки ΔD — к его занижению. Что будет получаться в конечном результате, определяется соотношением этих погрешностей. При погрешности годовой эффективной дозы, обычно принимаемой в расчетах равной 40% [1, с. 367–375; 2, с. 486–488], значения ДУ, рассчитанные с учетом погрешности измерения применяемых средств РК, оказываются заниженными на 10–20% по сравнению с ДУ, рассчитанными без учета погрешностей ΔR и ΔD . Логика такого расчета ДУ остается неясной. Численное значение ДУ — предельное значение радиационного фактора, при котором обеспечивается не превышение ОПД. Отсюда вполне логично вытекает условие, позволяющее корректно определить значение ДУ: он может быть установлен выше среднего значения настолько, насколько позволяет дозовый запас,

¹ Исследование методов определения эффективной дозы личного состава кораблей с ЯЭУ и судов обеспечения. Отчет по 1 этапу НИР «Дозиметр» / Институт проблем транспорта РАН. Научн. рук. Скороходов Д.А. СПб.: ИПТ РАН, 1999. 69 с.

численно равный разности между ОПД и значением значение годовой эффективной дозы наиболее облучаемого специалиста. Поскольку доза D_{eff} формируется при нахождении облучаемого во всех точках, в которых он бывает в течение суток по штатным расписаниям, то и «расход» имеющегося запаса по дозе необходимо предусмотреть также по всем этим точкам. Это можно сделать, воспользовавшись очевидными соотношениями:

$$K_{нов} = \frac{ОПД}{D_{eff}}, \quad (3)$$

$$\begin{aligned} ОПД &= K_{нов} \times D_{eff} = \\ &= K_{нов} \times f(Rcpi, I, t_i^{is}, t_i^{pz}, d_{is}, d_{pz}) = \\ &= F(DY_i, I, t_i^{is}, t_i^{pz}, d_{is}, d_{pz}) \end{aligned}, \quad (4)$$

где $K_{нов}$ — коэффициент допустимого повышения, характеризующий запас по дозе, отн. ед.; DY_i — значение допустимого уровня в i -й точке контроля, численно равно произведению $K_{нов} \times Rcpi$.

Случай, когда может произойти одновременное возрастание контролируемых параметров на величину $K_{нов}$ во всех точках контроля, является очень маловероятным. Изменение уровней ИИ при формировании аварийной ситуации, как правило, изначально происходит лишь в небольшой их части. И это превышение ДУ не приводит к израсходованию запаса по дозе: при их превышении будут приняты меры по выяснению причин повышения уровней ИИ и необходимые защитные меры. С другой стороны, и это главное, предусмотреть степень и вероятность возможного возрастания уровней ИИ в каждой точке контроля с целью установления для нее своего коэффициента $K_{нов}$ не представляется возможным. И поэтому практическим выходом в такой ситуации является принятие крайне консервативного подхода, суть которого здесь и рассмотрена. С учетом изложенного формула для расчета численного значения ДУ должна быть записана в виде:

$$DY_i = Rcpi \times \frac{ОПД}{D_{eff}}, \quad (5)$$

Ситуация с установлением КУ и ДУ в графическом виде представлена на рис. 1.

На рис. 1 показано распределение реальных результатов измерений мощности поглощенной дозы (МПД) гамма-излучения в отсеке, смежном с реакторным, не зависящее от режимов работы

РУ и описываемое законом нормального распределения с параметрами: $Rcpr=4,19 \times 10^{-7}$ Гр/ч, $СКО=5,02 \times 10^{-8}$ Гр/ч.

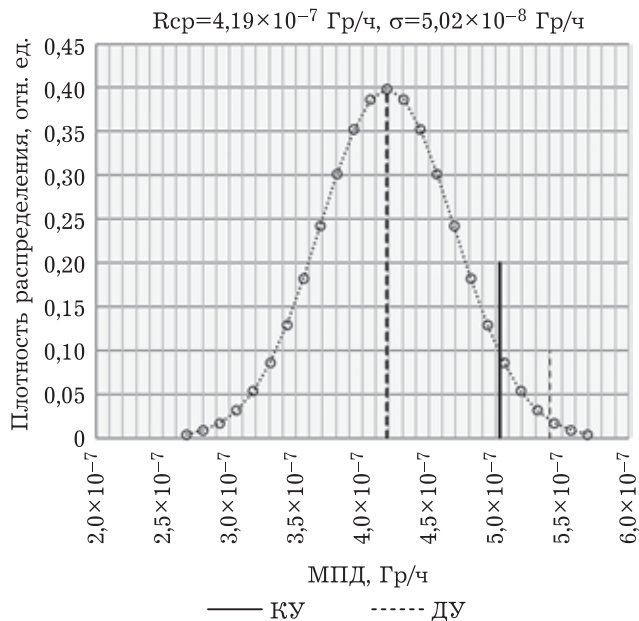


Рис. 1. Графическая иллюстрация установления контрольных и допустимых уровней в канале контроля мощности поглощенной дозы гамма-излучения в отсеке, смежном с реакторным

Fig. 1. Graphic illustration of the establishment of control and permissible levels in the control channel of the absorbed dose rate of gamma radiation in the compartment adjacent to the reactor

Эти параметры найдены по выборке, составленной из 36 результатов измерений, полученных в канале контроля при разных режимах работы РУ. В качестве КУ здесь выбрано среднее значение МПД гамма-излучения, увеличенное на погрешность измерения (рассмотрение регламента установления КУ в зависимости от требуемой достоверности контроля выходит за рамки настоящей статьи).

Это значение, равное $5,01 \times 10^{-7}$ Гр/ч, в силу статистического разброса результатов измерений в нормальных условиях может быть превышено в 5% случаев измерения. Значение ДУ ($5,41 \times 10^{-7}$ Гр/ч) рассчитано при повышающем коэффициенте, равном 1,29, которое соответствует годовой эффективной дозе $D_{eff}=15,5$ мЗв.

При таком значении этот уровень в условиях нормальной эксплуатации РУ может быть превышен в 1% случаев измерения. На рис. 2 показано распределение результатов измерений в канале контроля МПД гамма-излучения в проходном коридоре реакторного отсека того же заказа при естественной циркуляции теплоносителя первого контура.

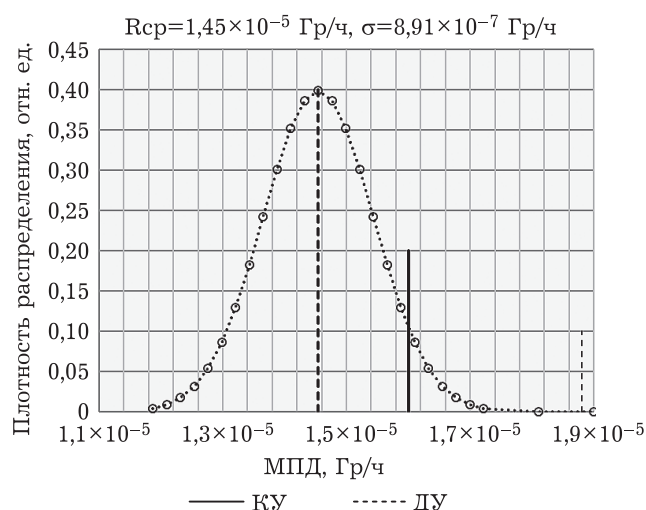


Рис. 2. Графическая иллюстрация установления контрольных и допустимых уровней в канале контроля мощности поглощенной дозы гамма-излучения в реакторном отсеке

Fig. 2. Graphic illustration of the establishment of control and permissible levels in the control channel of the absorbed dose rate of gamma radiation in the reactor compartment

Как и в первом случае, в качестве КУ здесь выбрано среднее значение МПД гамма-излучения, увеличенное на погрешность измерения, оказавшееся равным $1,6 \times 10^{-5}$ Гр/ч. При том же значении повышающего коэффициента уровень ДУ ($1,88 \times 10^{-5}$ Гр/ч) отстоит от среднего значения на таком удалении, что вероятность его превышения в нормальных условиях оказывается крайне мала, она не превышает $8,8 \times 10^{-7}$.

Выводы. Рассмотренный порядок расчета и установления КУ и ДУ позволяет сделать, по крайней мере, два замечания.

Во-первых, здесь для установления уровней КУ и ДУ использованы параметры реальных распределений без учета погрешностей ΔR и ΔD . Рекомендация использовать для расчета КУ значение «погрешности измерения» (в случае принятия в качестве таковой основной погрешности средства контроля — здесь $\pm 35\%$) оказывается несостоятельной, поскольку в качестве КУ предлагается принять среднее значение МПД гамма-излучения, увеличенное в 1,35 раза, при допустимом значении повышающего коэффициента, равном 1,29. Получаемые при этом значения КУ оказываются выше значений ДУ в обоих каналах контроля.

Суть второго замечания сводится к тому, что результаты измерений, полученные в канале контроля МПД гамма-излучения в смежном отсеке, хотя и расположены за пределами диапазона измерения, вполне приемлемо описываются законом нормального распределения с коэффициентом вариации, равным 0,12. И хотя здесь коэффициент вариации в два раза больше, чем в канале контроля МПД гамма-излучения в реакторном отсеке, нельзя не признать, что для условий рутинных измерений в условиях корабля разброс 70% результатов измерений в диапазоне $\pm 12\%$ от среднего значения следует считать вполне приемлемым. И в таких каналах контроля нет необходимости использовать значение НПДИ в качестве КУ.

Как представляется, учет полученных здесь выводов и внедрение их в практику будут способствовать повышению объема и достоверности радиационного контроля без привлечения дополнительных технических средств.

Литература/References

1. Жабрунов В.И., Керн А.А., Куташов В.В., Проститенко В.М., Тазов А.С., Труханов А.И. Актуальность решения некоторых вопросов радиационного контроля на объектах ВМФ в современных условиях // *Сборник трудов XVIII Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности»* М.: РАРАН; СПб.: НПО СМ, 2015. Т. 2. С. 367–375. [Zhabrunov V.I., Kern A.A., Kutashov V.V., Prostitenko V.M., Tazov A.S., Trukhanov A.I. The Relevance of addressing some of the issues of radiation monitoring at the facilities of the Navy in modern conditions. *Proceedings of the XVIII all-Russian scientific-practical conference «Actual problems of protection and safety»*. Moscow: Izdatel'stvo RARAN; Saint Petersburg: Izdatel'stvo NPO SM, 2015, Vol. 2, pp. 367–375 (In Russ.).]
2. Жабрунов В.И., Керн А.А., Куташов В.В., Проститенко В.М., Тазов А.С., Труханов А.И. / Актуальность проблемы достоверности радиационного контроля на кораблях с ядерными энергетическими установками на современном этапе // *Сборник трудов XIX Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности»* М.: РАРАН; СПб.: НПО СМ, 2016. Т. 4. С. 485–488. [Zhabrunov V.I., Kern A.A., Kutashov V.V., Prostitenko V.M., Tazov A.S., Trukhanov A.I. The urgency of the problem of the reliability of radiation monitoring on ships with nuclear power installations at the present stage. *Proceedings of the XIX Sarossy-Russian scientific-practical conference «Actual problems of protection and security»*. Moscow: Izdatel'stvo RARAN; Saint Petersburg: Izdatel'stvo NPO SM, 2016, Vol. 4, pp. 485–488 (In Russ.).]

Поступила в редакцию / Received by the Editor: 04.03.2019 г.

Контакт: *Жабрунов Валентин Иванович*, *bruno777@mail.ru*

Сведения об авторах:

Жабрунов Валентин Иванович — доктор технических наук, профессор, капитан 1 ранга в отставке, старший научный сотрудник научно-исследовательского института кораблестроения и вооружения Военно-Морского флота Военного учебно-научного центра Военно-Морского Флота «Военно-морская академия им. Н. Г. Кузнецова»; Санкт-Петербург, ул. Чапаева, д. 30; тел. (факс): 8 (812) 405-07-35; e-mail: *bruno777@mail.ru*;

Керн Андрей Александрович — капитан 2 ранга, старший научный сотрудник-заместитель начальника отдела научно-исследовательского института кораблестроения и вооружения Военно-Морского флота Военного учебно-научного центра Военно-Морского Флота «Военно-морская академия им. Н. Г. Кузнецова»; Санкт-Петербург, ул. Чапаева, д. 30; тел. (факс): 8 (812) 405-07-35; e-mail: *kern_andrey@mail.ru*;

Тазов Александр Семенович — доктор технических наук, старший научный сотрудник, капитан 1 ранга в запасе, старший научный сотрудник научно-исследовательского института кораблестроения и вооружения Военно-Морского флота Военного учебно-научного центра Военно-Морского Флота «Военно-морская академия им. Н. Г. Кузнецова»; Санкт-Петербург, ул. Чапаева, д. 30, тел. (факс): 8 (812) 405-07-35; e-mail: *astazov@mail.ru*;

Куташов Владимир Владимирович — кандидат технических наук, капитан 1 ранга, начальник службы радиационной, химической и биологической защиты Главного командования Военно-Морского Флота; Санкт-Петербург, Адмиралтейский проезд, д. 1, тел. (факс): 8 (812) 494-01-98; e-mail: *kutvv@mail.ru*.