

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

DIAGNOSTIC METHODS FOR ENSURING RELIABILITY AND QUALITY OF COMPLEX SYSTEMS

УДК 621.317

doi:10.21685/2307-4205-2022-3-7

К 100-летию со дня рождения
профессора Н. М. Седякина

ОБОБЩЕНИЕ ПОНЯТИЯ РЕСУРСА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ Н. М. СЕДЯКИНА ДО РЕСУРСА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЖИВОГО ОРГАНИЗМА

В. А. Смагин¹, Р. О. Лавров², С. Ф. Литвиненко³

^{1,2,3} Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия

¹va_smagin@mail.ru, ²9432923@mail.ru, ³89818438422@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Обоснование требований к эксплуатационным характеристикам современных информационно-измерительных систем неразрывно связано с количественным оцениванием показателей надежности аппаратных и программных средств. При этом весьма востребованной является информация о техническом состоянии на всех стадиях их жизненного цикла. Таким образом целью данной работы является предложение по использованию интегрального показателя надежности технических систем. *Материалы и методы.* В основу представленного исследования положено введенное Седякиным Н. М. понятие ресурса надежности объекта как основного показателя надежности систем, личный опыт авторов, а также изучение опыта других авторов, которые опубликовали соответствующие работы по данной теме. *Результаты.* В статье рассмотрено двухэтапное событие, имевшее место в процессе развития теории надежности систем. *Выводы.* Выполнено исследование ресурса работоспособности объекта и предложены рекомендации по его использованию и дальнейшему развитию в стратегиях реализации исправного технического состояния информационно-измерительных систем с целью повышения их работоспособности.

Ключевые слова: физический принцип теории надежности Седякина Н. М., программное обеспечение, надежность информационно-измерительных систем

Для цитирования: Смагин В. А., Лавров Р. О., Литвиненко С. Ф. Обобщение понятия ресурса надежности технической системы Н. М. Седякина до ресурса работоспособности живого организма // Надежность и качество сложных систем. 2022. № 3. С. 54–60. doi:10.21685/2307-4205-2022-3-7

GENERALIZATION OF THE CONCEPT OF THE RELIABILITY RESOURCE OF N.M. SEDYAKIN'S TECHNICAL SYSTEM TO THE OPERABILITY RESOURCE OF A LIVING ORGANISM

V.A. Smagin¹, R.O. Lavrov², S.F. Litvinenko³

^{1,2,3} Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky, Saint Petersburg, Russia

¹va_smagin@mail.ru, ²9432923@mail.ru, ³89818438422@mail.ru

Abstract. *Background.* Substantiation of the requirements for the operational characteristics of modern information-measuring systems is inextricably linked with the quantitative assessment of the reliability indicators of hardware and software. At the same time, information about the technical condition at all stages of their life cycle is in high demand. Thus, the purpose of this work is to propose the use of an integral indicator of the reliability of technical systems. *Materials and methods.* The basis of the presented study is the introduced by Sedyakin N.M. the concept of the reliability resource of an object as the main indicator of the reliability of systems, the personal experience of the authors, as well as the study of the experience of other authors who have published relevant works on this topic. *Results.* The article considers a two-stage event that took place in the process of developing the theory of systems reliability. *Conclusions.* A study of the object's operability resource has been carried out and recommendations have been proposed for its use and further development in strategies for implementing the correct technical condition of information-measuring systems in order to ensure their operability.

Keywords: physical principle of reliability theory Sedyakin NM, software, reliability of information-measuring systems

For citation: Smagin V.A., Lavrov R.O., Litvinenko S.F. Generalization of the concept of the reliability resource of N.M. Sedyakin's technical system to the operability resource of a living organism. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems*. 2022;(3):54–60. (In Russ.). doi:10.21685/2307-4205-2022-3-7

Введение

19 апреля 2022 г. исполнилось 100 лет со дня рождения выдающегося ученого, доктора технических наук, профессора Николая Михайловича Седякина, начальника кафедры эксплуатации автоматизированных систем управления и связи Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского, известного ученого в теории случайных импульсных потоков, теории эксплуатации сложных систем и теории надежности. В 1965 г. им сделан доклад на тему «Об одном физическом принципе теории надежности и его приложениях», а в 1966 г. опубликована статья в журнале «Известия АН СССР. Техническая кибернетика» [1]. Сущность его работы сводится к тому, что им впервые сформулирован основной закон теории надежности, который гласит, что надежность системы зависит от величины выработанного ею ресурса надежности и не зависит от того, как он был выработан. Ресурс надежности количественно определялся в виде

$$r(t, \varepsilon) = \int_0^t \lambda(z, \varepsilon) dz, \quad (1)$$

где $\lambda(t, \varepsilon)$ – интенсивность отказа системы, работающей в течение времени t в условиях физического нагружения ε .

Закон многократно проверялся экспериментально на различных технических элементах и устройствах, и было установлено, что он выполнялся при недостаточно сильных физических нагружениях. Но при сильных нагружениях его выполнение не наблюдалось. Тем не менее на основе этого закона было написано большое количество научных работ по теории надежности, и он использовался при ускоренных и форсированных испытаниях элементов и систем на надежность.

Одним из авторов статьи выполнен ряд научных исследований и опубликовано предложение с теоретическим обобщением закона [2]. Сущность этого предложения заключалась в необходимости учета при расчетах надежности перепадов величин нагружений и времени их наблюдения.

Если ранее вероятность безотказной работы объекта определялась по формуле

$$P(t, \varepsilon) = e^{-\int_0^t \lambda(z, \varepsilon) dz}, \quad (2)$$

то после теоретического обобщения было рекомендовано вводить относительное условное нагружение и выполнять расчеты надежности с применением не только интегральной формы расчета (2), но и с переходом к интегрально дифференциальной форме расчета.

Надежность программного обеспечения и формула D. Musa. Если 60-е гг. прошлого столетия были годами появления и становления теории надежности аппаратных средств, то 80-е гг. были годами рождения и развития надежности программных средств. Конечно, доработки на технике были связаны с повышением надежности и готовности на первом этапе развития этой науки. Но они не были столь характерными как на втором этапе развития, а именно периоде развития программной надежности. Поэтому первый характеризуется появлением понятия ресурса надежности и формулы

Н. М. Седякина для него, второй этап характеризуется появлением модели доработок в программном обеспечении в виде тестирования и формулы D. Musa для него [4].

В своей работе D. Musa показал, какого эффекта в надежности программы можно достичь, если до ее применения по назначению многократно подвергать тестированию с целью обнаружения и устранения дефектов в ней. Он предложил простейшую математическую модель расчета безошибочности программы с учетом ее предварительного тестирования до использования ее по назначению [4]. Если воспользоваться понятием ресурса надежности Н. М. Седякина, то в обобщенном виде можно записать выражение для вероятности ее безошибочного функционирования:

$$P(r, \rho) = e^{-r} \cdot e^{-\rho}, \quad (3)$$

где r – обычный ресурс надежности программы после ее изготовления, а ρ – ресурс, потраченный на ее предварительное тестирование. Используя временные обозначения для времени использования программы по назначению t и времени ее тестирования τ , можно записать

$$P(t, \tau) = e^{-\int_0^t \lambda(z) dz} \cdot e^{-\int_0^{\tau} v(z) dz}, \quad (4)$$

где λ – интенсивность возникновения ошибки в программе, а v – интенсивность обнаружения и устранения дефекта в программе при ее тестировании до применения.

Если ранее вероятность безошибочной работы программы мы обозначали как $P(t)$ и называли ее безотказностью, то в условиях получения формулы (4) будем вероятность $P(t, \tau)$ называть вероятностью работоспособности программы. С ней свяжем понятие ресурса $r(t, \tau)$ работоспособности программы, который в отличие от ресурса надежности будем понимать так:

$$r(t, \tau) = \int_0^t \lambda(z) dz + \int_0^{\tau} v(z) dz. \quad (5)$$

В приведенных выражениях временные показатели надежности (работоспособности) следует сопровождать показателями условий их получения или, точнее, физического нагружения, как это, например, делается в формуле ресурса надежности введением величины нагружения ε . Мы этого не делаем в силу того, чтобы не усложнять математические выражения.

Исследование влияния процесса тестирования программы на ее работоспособность. Программа расчета надежности нами рассматривается как один из возможных объектов расчета надежности в технике. Рассмотрим упражнение в виде выполнения численных расчетов простого примера с применением обобщенной формулы D. Musa с целью ее графического представления. Итак, мы имеем выражение для определения вероятности безошибочного функционирования программы:

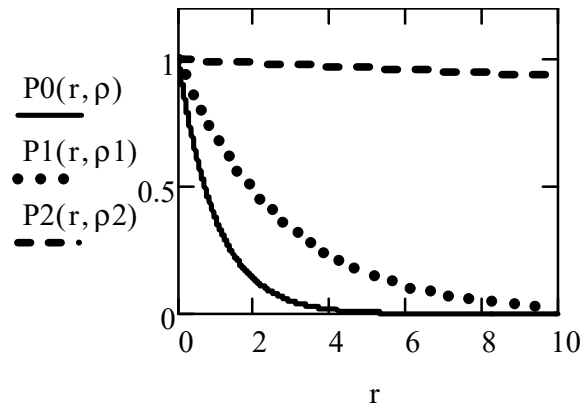
$$P(r, \rho) = e^{-r} \cdot e^{-\rho}, \quad (6)$$

в которой r – ресурс надежности программы в смысле Н. М. Седякина, а ρ – дополнительный потенциальный ресурс работоспособности, вводимый в разработанную программу в процессе ее предварительных доработок или тестирования. Формальное количественное представление ρ выражается так же, как и ресурс r , но имеет совершенно другое смысловое содержание.

В выполняемом примере полагаем, что значения r изменяются непрерывно в некотором диапазоне значений, а значения ρ принимают значения $\rho = 0, \rho_1 = 1, \rho_2 = 5$. При этих значениях ρ вероятности успешной работоспособности, соответственно, принимают следующие выражения:

$$P_0(r, \rho) = e^{-r} \cdot e^{-\rho}, \quad P_1(r, \rho_1) = e^{-r} \cdot e^{-\rho_1}, \quad P_2(r, \rho_2) = e^{-r} \cdot e^{-\rho_2}. \quad (7)$$

На рис. 1 представлены вероятности (7). Из данного рисунка следует, что вероятность сохранения успешной работоспособности программы в зависимости от величины предварительно введенного потенциального ресурса ρ до начала ее применения возрастает с его увеличением.


 Рис. 1. Характер изменения вероятностей $P(0)$, $P(1)$, $P(2)$

Далее рассмотрим зависимость полного ресурса работоспособности программы от ее ресурса надежности Н. М. Седякина при различных значениях введенного потенциального ресурса. Полный ресурс работоспособности программы представляется следующими выражениями:

$$R(r, \rho) = r \cdot e^{-\rho}, \quad R(t, \tau) = \left(\int_0^t \lambda(z) dz \right) \cdot e^{-\int_0^{\tau} \mu(u) du}. \quad (8)$$

Рассмотрим три значения величины полного ресурса работоспособности программы при указанных выше значениях потенциального ресурса $\rho = 0, \rho_1 = 1, \rho_2 = 5$ по первой формуле из (7). Они представляются такими выражениями:

$$R0(r) = r \cdot e^{-\rho}, \quad R1(r) = r \cdot e^{-\rho_1}, \quad R2(r) = r \cdot e^{-\rho_2}. \quad (9)$$

На рис. 2 представлены графики зависимостей выражения (8). Они позволяют сделать вывод о том, что в зависимости от значения величины ресурса надежности Н. М. Седякина программы значения полного ресурса ее работоспособности увеличиваются. Это определяется тем, что величина выработанного программой ресурса увеличивается. При этом величина выработанного полного ресурса работоспособности программы наблюдается тем меньше, чем большее значение у нее предварительно введенного потенциального ресурса. Иначе можно утверждать, что чем больше величина предварительно введенного в нее потенциального ресурса до применения программы по назначению, тем больше у программы способность сохранять меньшую величину вырабатываемого ею ресурса при эксплуатации. Для простоты восприятия эффекта рассмотрим простой расчетный пример. Пусть величина ресурса надежности изготовленной программы (ресурса Н. М. Седякина) без ее профилактического обслуживания (тестирования) равна $r = 0,5$. Рассмотрим, какой результат мы получим, если будем вводить в нее потенциальный ресурс величиной ρ . На рис. 3 показана зависимость вероятности успешной реализации программы в данном случае, которая вычислена по формуле

$$P(r, \rho) = e^{-r} \cdot e^{-\rho}, \quad r = 0,5, \rho = 0, 0,1 \dots 10. \quad (10)$$

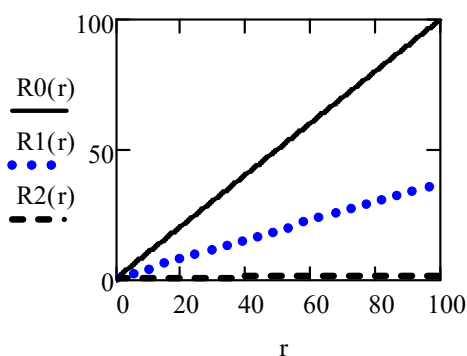


Рис. 2. Изменение полного ресурса работоспособности программы

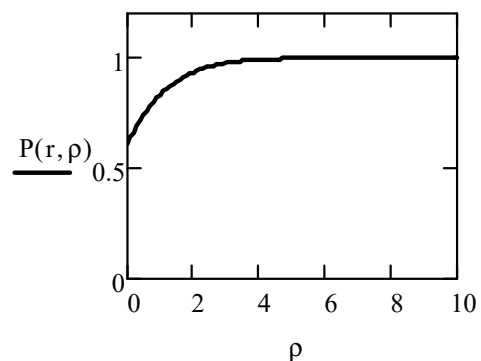


Рис. 3. Зависимость вероятности успешной реализации программы

Обобщение понятия ресурса надежности Н. М. Седякина на основе вероятностной модели D. Musa до понятия ресурса работоспособности живого организма и его значение

Подведем условный вывод о кратком поэтапном развитии теории надежности, представленном в виде дух последовательных этапов, соответствующих появлению двух количественных характеристик, или показателей Н. М. Седякина и D. Musa. Надежность – это свойство объекта сохранять его работоспособность в определенных условиях в течение определенного времени [1]. Имевшееся ранее различие к подходу теории надежности в формах математического и физического считаем несущественным, так как они преследовали одну и ту же цель и только дополняли и обогащали друг друга.

На первом этапе развития теории надежности профессор Н. М. Седякин предложил обобщенный интегральный показатель надежности технических объектов, названный им ресурсом надежности на основе существования реальных физических и вероятностных (статистических) данных.

На втором этапе развития теории надежности, связанном с такими процессами, как доработка объектов по выявлению и устранению дефектов техники до ее применения по назначению, а также тестирование сложных программных средств, зарубежный ученый D. Musa предложил новую математическую модель, включающую количественный учет дополнительного экспериментального исследования объектов с целью повышения их работоспособности в процессе применения по назначению.

Рассмотрение двух совместных этапов количественного оценивания надежности технических и программных объектов позволило нам ввести обобщенный показатель работоспособности в виде формулы (5). С нашей точки зрения этот показатель может быть применен не только для технических и программных средств техники, но и информационных средств, какими являются и живые организмы, а именно: человек и человеко-машинные комплексы. Действительно, природа создает человека, наделяет его в определенных условиях жизненного существования конечным статистическим (вероятностным) ресурсом. Это право дано природе в виде первого этапа для успешного существования. Его можно определить количественно в смысле ресурса надежности Н. М. Седякина. Вступая в жизнь с этим ресурсом, человек вступает в реализацию второго этапа жизни. Его работоспособность при данном ресурсе первого этапа на втором этапе будет существенно зависеть от личного поведения. Этим поведением он может управлять, выбирая и создавая свой комплекс условий существования. Человек сам может создавать себе программу существования, выбирать по своему усмотрению те жизненные факторы, которые помогут ему способствовать достижению цели. Это во многом определяется теми условиями жизни, в которые он попадает.

Как можно трактовать рассматриваемый обобщенный показатель работоспособности живого организма, человека? Система природы с ее условиями порождает человека с определенным ресурсом надежности его деятельности и жизни. Этот ресурс количественно статистически конечен из-за воздействия внешних и внутренних факторов. Выбирая жизненную стратегию перехода ко второму этапу жизни, он может управлять величиной потенциально вводимого ресурса работоспособности, вводя «доработки» и «процесс тестирования и устранения» этим некоторых определенных нежелательных событий жизни. В формуле (5) введен в показателе степени у ресурса надежности Н. М. Седякина сомножитель e^{-p} , означающий уменьшение утраченного ресурса надежности Н. М. Седякина тем больше, чем больше величина введенного предварительно потенциального ресурса. Физически это означает прореживание существующих вредоносных событий по мере введения значения и величины потенциального ресурса. Величина этого потенциального ресурса уже не может содержать дополнительного экспоненциального сомножителя, который мог бы только ухудшить реальную ситуацию с наступлением новых во времени жизни человека событий. Величина этого потенциального ресурса может быть представлена только суммой частных составляющих потенциального ресурса, вводимых человеком в процессе его жизни. Формально, это представимо так:

$$\rho = \sum_{i=1}^{\hat{n}} \rho_i,$$
 где $\hat{n}$ – случайное число событий, а ρ_i – величина частного жизненного ресурса. Если бы

мы ввели величину для сомножителя показателя ресурса ρ в виде $e^{+\gamma}$, то пришли бы к нереальному выводу о единичной вероятности существования живого организма. Если ρ представить в виде суммы частных ресурсов, то это может позволить решать новые реальные для жизни человека задачи обеспечения его работоспособности с учетом различных затрат и факторов жизни. Но это представляется нам как задача будущего исследования.

Заключение

В статье выделено двухэтапное событие, имевшее место в процессе развития теории надежности систем. Первый этап связан с введением Н. М. Седякиным понятия ресурса надежности объекта как основного показателя надежности систем, который объект имеет и вырабатывает во время применения по назначению.

Второй этап связан с явлением увеличения продолжительности действия объекта за счет устранения его возможных отказов и дефектов благодаря доработкам технического объекта и тестирования функционирования программного обеспечения объекта перед применением по назначению.

На основе выделения этих двух этапов предложено количественное обобщение их частных показателей в один общий показатель – ресурс работоспособности объекта. Выполнено исследование свойств этого показателя и предложены рекомендации по его использованию и дальнейшему развитию в стратегиях жизненной деятельности человека с целью повышения его работоспособности.

Предложенная модель оценивания и обеспечения работоспособности может быть использована при разработке государственной комплексной математической модели противодействия пандемии, которая в настоящее время находится на стадии создания.

Список литературы

1. Седякин Н. М. Об одном физическом принципе теории надежности // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1966. № 3. С. 80–87.
2. Смагин В. А. Обобщение физического принципа теории надежности профессора Н. М. Седякина // Информация и космос. 2006. № 3. С. 71–78.
3. Смагин В. А. Модели оценивания надежности элементов на основе форсирования испытаний // Техническая синергетика. Вероятностные модели сложных систем : Монография. СПб., 2004. 171 с.
4. Musa J. A theory of software reliability and its application // IEEE Trans. on software Eng. 1975. Vol. SE-1. P. 312–327.

References

1. Sedyakin N.M. On one physical principle of reliability theory. *Izvestiya AN SSSR. Tekhnicheskaya kibernetika = Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Technical cybernetics*. 1966;(3):80–87. (In Russ.)
2. Smagin V.A. Generalization of the physical principle of the reliability theory of Professor N.M. Sidiyakin. *Informatsiya i kosmos = Information and Cosmos*. 2006;(3):71–78. (In Russ.)
3. Smagin V.A. Models for assessing the reliability of elements based on forcing tests. *Tekhnicheskaya sinergetika. Veroyatnostnye modeli slozhnykh sistem : monografiya = Technical Synergetics. Probabilistic models of complex systems : monograph*. St. Petersburg, 2004:171. (In Russ.)
4. Musa J.A theory of software reliability and its application. *IEEE Trans. on software Eng*. 1975;SE-1:312–327.

Информация об авторах / Information about the authors

Владимир Александрович Смагин

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры метрологического обеспечения
вооружения, военной и специальной техники,
Военно-космическая академия
имени А. Ф. Можайского
(Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13)
E-mail: va_smagin@mail.ru

Роман Олегович Лавров

кандидат технических наук, доцент,
заместитель начальника кафедры
метрологического обеспечения вооружения,
военной и специальной техники,
Военно-космическая академия
имени А. Ф. Можайского
(Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13)
E-mail: 9432923@mail.ru

Vladimir A. Smagin

Doctor of technical sciences, professor,
professor of the sub-department of metrological support
of weapons, military and special equipment,
Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky
(13 Zhdanovskaya street, Saint Petersburg, Russia)

Roman O. Lavrov

Candidate of technical sciences, associate professor,
deputy head of the sub-department of metrological
support of weapons, military and special equipment,
Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky
(13 Zhdanovskaya street, Saint Petersburg, Russia)

Сергей Федорович Литвиненко

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры метрологического обеспечения
вооружения, военной и специальной техники,
Военно-космическая академия
имени А. Ф. Можайского
(Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13)
E-mail: 89818438422@mail.ru

Sergey F. Litvinenko

Candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of the sub-department
of metrological support of weapons,
military and special equipment,
Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky
(13 Zhdanovskaya street, Saint Petersburg, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 22.12.2021

Поступила после рецензирования/Revised 19.01.2022

Принята к публикации/Accepted 21.02.2022