

Н. А. Зеленская¹, П. О. Названова¹, Н. П. Асташков¹

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Аннотация. Улучшение показателей качества программного обеспечения (ПО), стабильности и безотказности являются основополагающими задачами, требующими при решении учета влияния не только внешних дестабилизирующих факторов, но и ошибок при проектировании и реализации связей между аппаратными и программными средствами. Обнаружение и локализация программных ошибок в совокупности с оценкой последствий их возникновения отражаются увеличением сложности не только вычислительных систем, но и ПО.

Надежность ПО требует рассмотрения не только всей системы, но и отдельных программных модулей, чем обусловлена необходимость выполнения анализа программной архитектуры. Ошибки в архитектурно связанных или часто используемых модулях требуют особого внимания и учета при оценке уровня надежности их функционирования.

В различной технической литературе имеется множество определений надежности ПО, что отражается различными факторами и коэффициентами, необходимыми для выполнения расчетов. Надежность ПО выражается не только выполнением заданных функций в определённых условиях работы, но и подразумевает рассмотрение конкретной вычислительной машины. Отличие механизмов возникновения отказов аппаратуры и ПО отражается различными способами и методами оценки их надежности.

Оценка существующих методов надежности ПО позволит оптимизировать выбор подходящей модели при его проектировании. Имеющееся в настоящее время большое количество моделей надежности определяет сложности не только их выбора, но и совместного использования с целью выполнения максимально корректного расчета вероятности безотказной работы и обнаружения максимального количества возможных ошибок.

Ключевые слова: классификация дефектов, надежность программного обеспечения, модели надежности, методы прогнозирования ошибок, прогнозирование программных дефектов.

N. A. Zelenskaya¹, P. O. Nazvanova¹, N. P. Astashkov¹

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

ANALYSIS OF EXISTING SOFTWARE RELIABILITY MODELS

Abstract: Improving the quality indicators of software (SW), stability and reliability are fundamental tasks that require taking into account the influence of not only external destabilizing factors, but also errors in the design and implementation of connections between hardware and software. Detection and localization of software errors in combination with an assessment of the consequences of their occurrence are reflected in the increase in the complexity of not only computing systems, but also software.

Software reliability requires consideration of not only the entire system, but also individual software modules, which necessitates the analysis of software architecture. Errors in architecturally related or frequently used modules require special attention and consideration when assessing the level of reliability of their operation.

There are many definitions of software reliability in various technical literature, which is reflected by various factors and coefficients required to perform calculations. Software reliability is expressed not only by the execution of specified functions under certain operating conditions, but also implies consideration of a specific computing machine. The difference in the mechanisms of hardware and software failures is reflected by various methods and techniques for assessing their reliability.

Evaluation of existing software reliability methods will allow optimizing the choice of a suitable model when designing it. The currently available large number of reliability models determines the complexity of not only their selection, but also their joint use in order to perform the most correct calculation of the probability of failure-free operation and detect the maximum number of possible errors.

Keywords: classification of defects, software reliability, reliability models, error prediction methods, software defect prediction.

Введение. Использование ПО в составе технических средств обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте, систем управления и защиты электрооборудования не только локомотивов, но систем жизнеобеспечения любых объектов требует большего

внимания к оценке надежности функционирования программ. Кроме того, наличие не выявленных ошибок в ПО может отразиться неправильными результатами расчетов в ходе выполнения научных исследований. Актуальность тематики представленной к рассмотрению статьи доказывают сложности реализации адекватного тестирования, ведь доверие к ПО обусловлено большим количеством случаев, которые должны быть проверены и отлажены.

Высокая стоимость написания и сертификации надежного ПО определяет гарантии безопасности ее адекватной работы. Модификации ПО за определенный период сопровождения отражаются изменением определенного количества строк кода, а ее необходимость обусловлена не только периодическим обновлением аппаратной базы, но и добавлением необходимой в настоящий момент функциональности и исправления выявленных дефектов.

Оценка надежности предполагает использование моделей, которые предназначены предсказывать поведение основных показателей в зависимости от тех или иных характеристик программ.

Факторы, влияющие на надежность программного обеспечения. Одним из факторов, оказывающим влияние на надежность ПО, является несанкционированное использование, злоумышленное разрушение, искажение и хищение программных средств, что подчеркивает актуальность решения вопросов обеспечения безопасности и защиты информации.

При рассмотрении общей характеристики уязвимостей информационной системы в работе [1] представлены основные причины их возникновения:

- ошибки при проектировании и разработке ПО, а также преднамеренные действия по внесению уязвимостей на данных этапах;
- внедрение неучтенных и вредоносных программ;
- неумышленные действия пользователей, приводящие к возникновению уязвимостей;
- сбои в работе аппаратного и ПО.

Воздействие непредумышленных (случайных) дестабилизирующих факторов может вызвать аномалии функционирования ПО и привести к тяжелым последствиям. Особенности, характеристики и природа таких факторов обуславливают разработку принципиально новых и совершенствование существующих методов и средств повышения надежности.

Рассмотренные объекты уязвимости информационных систем позволили представить дестабилизирующие факторы в совокупности с методами предотвращения угроз и повышения безопасности, рисунок 1 [2].

В работе [3] представлены причины проявления отказа программы в процессе эксплуатации:

- некорректность исходных данных, которая может привести не только к искажению результатов работы программы, но и ее отказу;
- перенос программы на другую аппаратную или программную платформу;
- доработка программы, реализация которой негативно отразилась правильным осуществлением текущего функционала программного средства.

Реализация эксперимента, в рамках которого осуществлялось тестирование нескольких программных модулей, реализуемых на одном языке программирования и программной платформе, позволила получить предварительные статистические оценки и отнести зафиксированные ошибки к одному из следующих типов:

- ошибочная выборка данных;
- ошибки в обработке входных данных;
- ошибочная логика или последовательность операций;
- ошибка в арифметических операциях;
- ошибки передачи данных между модулями [3].

В работе [4] отмечено, что в качестве основной непредумышленной угрозы необходимо рассматривать наличие внутренних дефектов ПО и баз данных, которые обусловлены ошибками проектирования и реализации.



Рис. 1. Модель анализа безопасности информационных систем при отсутствии злоумышленных угроз

Сопоставляя аппаратные и программные технологии с позиции надежности, в работе [5] отмечено, что точная документация даже для небольших программных систем является весомой составляющей, а ее изучение программистом займет определенное время. Уделено внимание последствиям наличия тривиальных канцелярских и пунктуационных ошибок для ПО, рассмотрены трудности при выполнении тестирования.

Отличие значений исходных данных от заданных техническим заданием и использованных при тестировании определяет не только функционирование ПО, но и вероятность появления различных аномалий, приводящих к отказу.

В работе [6] представлена частота появления различных типов ошибок, рисунок 2, которая позволяет сделать вывод о том, что квалификация и профессионализм программиста является одним из основных факторов, оказывающих влияние на надежность ПО.

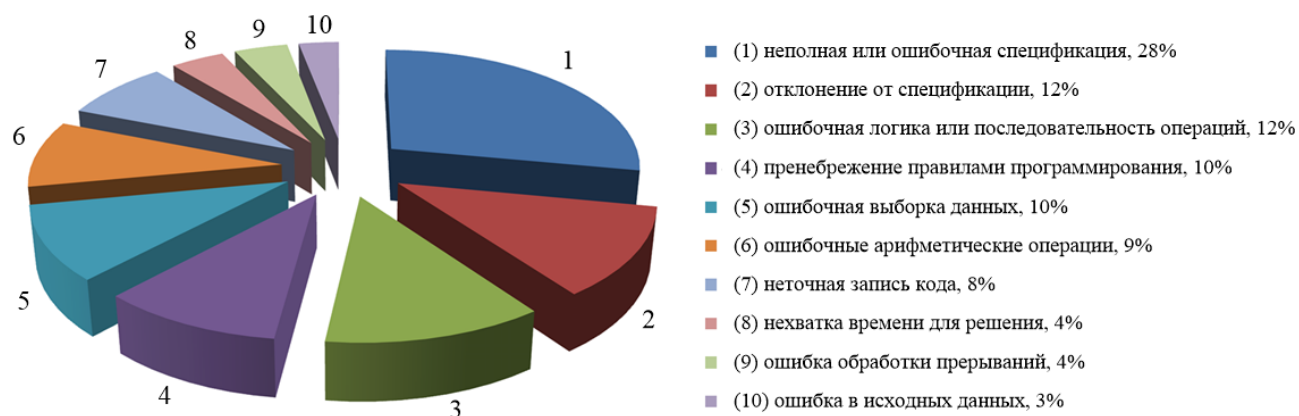


Рис. 2. Частоты появления ошибок в ПО

В работе [7] при оценке надежности ПО рассмотрена проблема учета вторичных дефектов, природа появления которых обусловлена следующим:

- внесение в процессе устранения первичных дефектов;
- обновление;
- взаимодействие первичной и обновленной частей программного средства.

Представленный в статье анализ факторов, влияющих на надежность ПО, требует рассмотрения существующих методов и моделей прогнозирования и оценки надежности.

Методы прогнозирования и оценки ошибок в программном обеспечении. Рассмотренная в рамках статьи классификация существующих моделей надежности ПО [8] позволила выделить прогнозные, которые целесообразно применять на этапах проектирования до начала тестирования. Определение количественных показателей надежности при использовании прогнозных моделей возможно исходя из характеристик самого ПО, среды его разработки или данных о работе аналогичных проектов.

К существующим подходам обнаружения программных ошибок относятся [9]:

- аудит исходного кода программ;
- различные виды тестирования;
- анализ трасс выполнения программ;
- верификация программ на основе моделей;
- методы статического анализа.

Методы статического анализа позволяют реализовать автоматизацию обнаружения дефектов. В работе [9] рассмотрены вопросы организации комплексного анализа для обнаружения дефектов в исходном коде программ, предложен итеративный алгоритм, представлены его достоинства и способы улучшения.

Для выражения надежности ПО и его функциональности рассмотрены примитивы качества программного средства [10], рисунок 3.

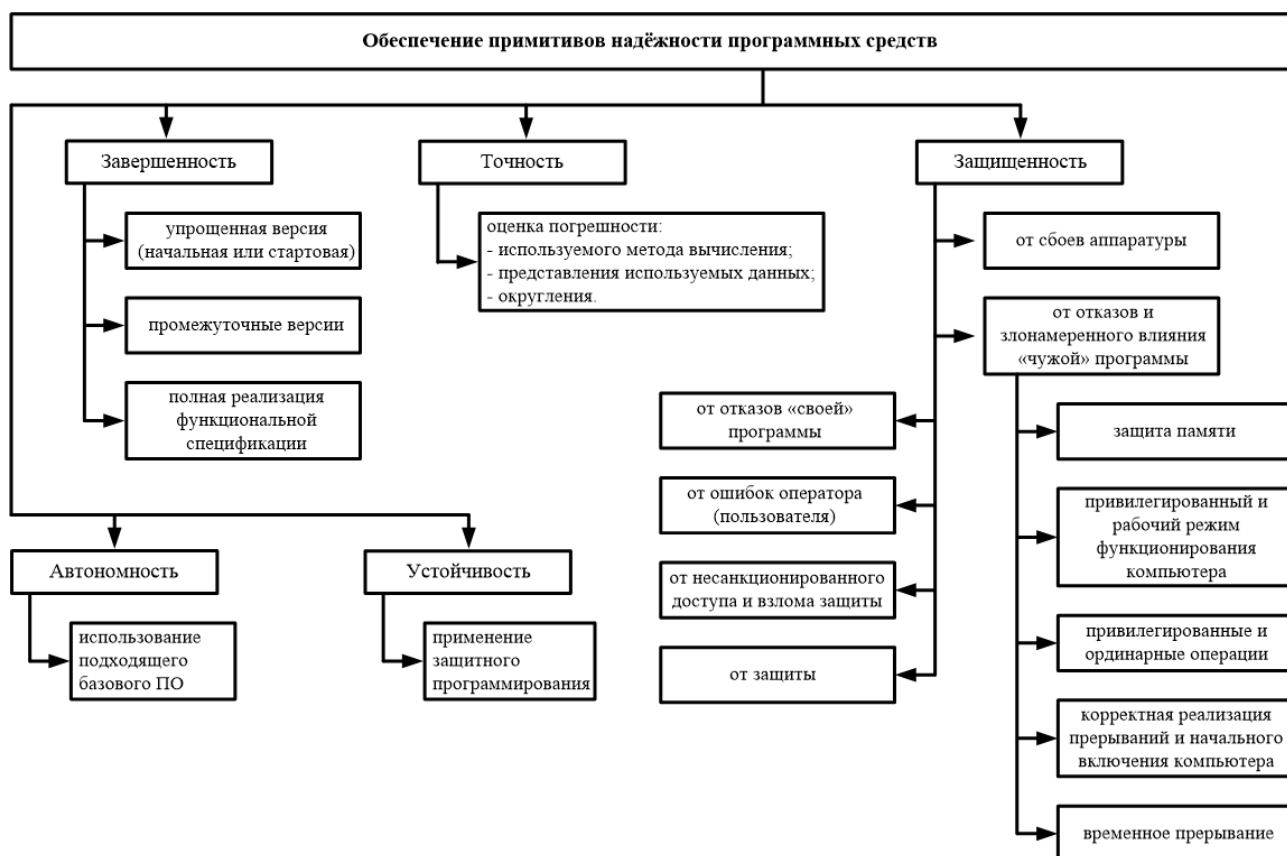


Рис. 3. Обеспечение примитивов надежности программных средств

Общие принципы обеспечения надежности программных средств базируются на следующих подходах [10]: предупреждение, самообнаружение, самоисправление ошибок и обеспечение устойчивости к ним.

Предупреждение ошибок требует решения следующих вопросов:

1. Борьба со сложностью:

- 1.1. Обеспечение независимости компонентов системы;
- 1.2. Использование в системах иерархических структур.
2. Обеспечение точности перевода.
3. Преодоление барьера между пользователем и разработчиком.
4. Обеспечение контроля принимаемых решений:
 - 4.1. Смежный контроль;
 - 4.2. Сочетание статистических и динамических методов контроля.

В работе [11] представлена классификация методов прогнозирования программных дефектов, которая позволяет реализовать выбор моделей и алгоритмов по критериям прогнозирования количества дефектов и их классифицирования, рисунок 4.

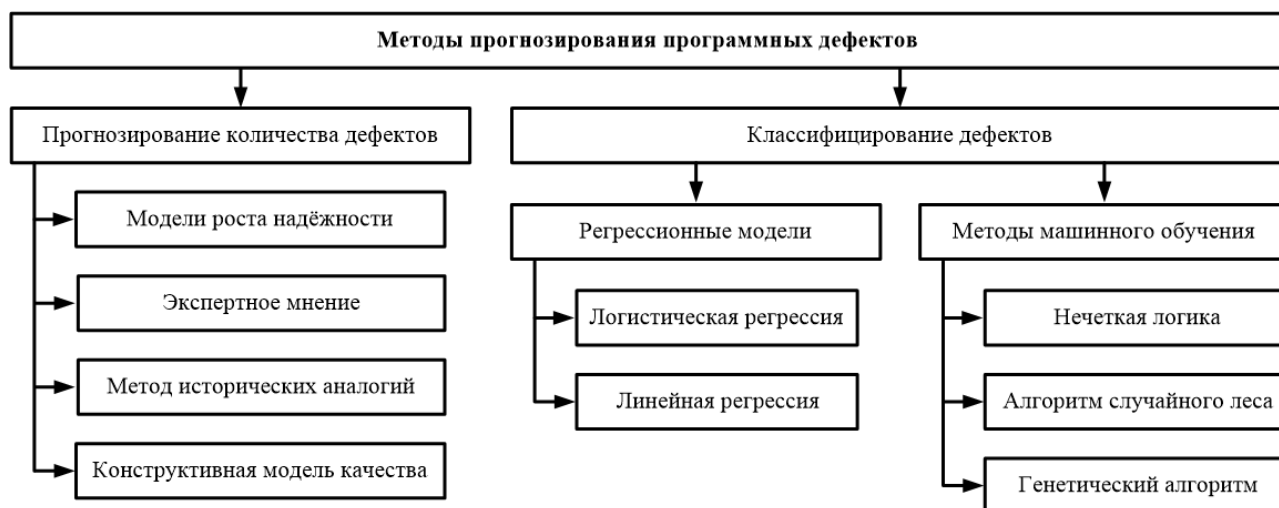


Рис. 4. Методы прогнозирования программных дефектов

Целью использования существующих методов прогнозирования является определение вероятности наличия дефектов в определенных программных компонентах для рационального распределения ресурсов тестирования.

Несмотря на значительный перечень достоинств каждого метода прогнозирования имеющиеся недостатки ограничивают их сферу применения.

Использование структурного подхода при разработке методов предотвращения ошибок и условий их возникновения в процессе проектирования является одним из способов повышения надежности архитектуры ПО [12].

Использование лишь методов отладки и тестирования при разработке сложных программ на сегодняшний день является недостаточным условием обеспечения надежности ПО. Исключение распространения ошибки по компонентам системы, ускорение процесса анализа и поиска, устранение последствий сбоя в процессе эксплуатации возможно в процессе создания архитектуры как этапа проектирования. Рассмотрены методы, использующие разнообразие в разработке, спецификации, внедрении и тестировании. Отмечено, что независимая разработка множества версий ПО позволит уменьшить вероятность ошибок. Выявление ошибок в наиболее часто используемых компонентах при разработке архитектуры позволит создать надежное ПО.

Полного отсутствия ошибок при разработке ПО достичь невозможно, поэтому использование существующих методов повышения надежности направлено на минимизацию их появления.

Модели надежности программного обеспечения. Разработка методов, методик и моделей исследования надежности ПО направлено на решение проблемы обеспечения устойчивого функционирования программ и выявления ошибок [13, 14].

В работе [14] метаматематические модели оценки надежности разделяются на следующие типы и их комбинации:

1. Марковские;
2. Пуассоновские;
3. Байесовские.

Классификация моделей надежности программных средств с подразделением на аналитические и эмпирические представлена в работе [15], рисунок 5. Отмечено, что на основании данных о поведении программы во время тестирования применение аналитических моделей позволит выполнить расчет количественных показателей надежности ПО. На основе анализа структурных особенностей программы использование эмпирических моделей даст возможность оценить взаимосвязь между сложностью программы и ее надежностью за счет оценки числа межмодульных связей, количества циклов в модулях и отношения количества прямолинейных участков программы к количеству точек ветвления.

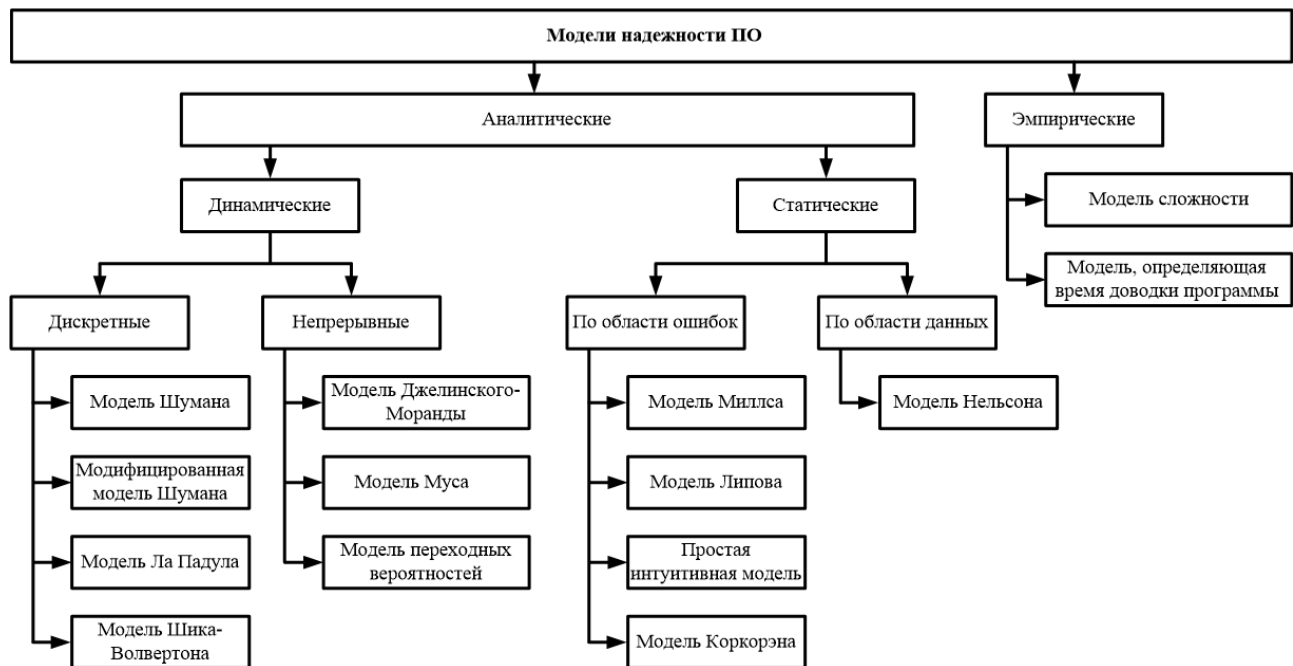


Рис. 5. Классификация моделей надежности программных средств

В работе [16] автор представил разделение моделей оценки надежности ПО по признакам, что в определенной степени дополняет вышерассмотренную классификацию, рисунок 6.

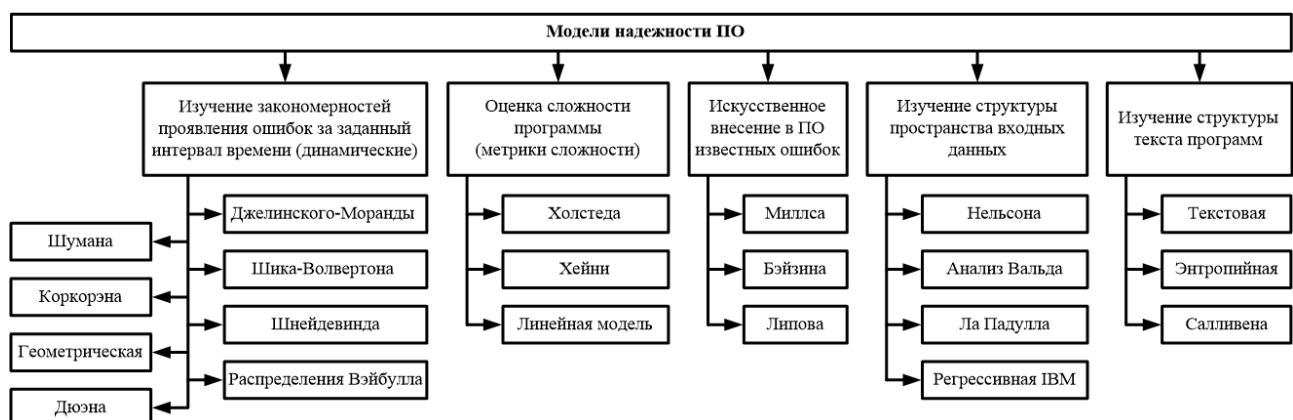


Рис. 6. Классификация моделей надежности ПО по признакам

Разбиение известных моделей по назначению на прогнозирующие, оценочные и измерительные соответствует последовательности этапов жизненного цикла ПО - разработка, отладка и сопровождение [17-20], рисунок 7.



Рис. 7. Классификация моделей надежности ПО по назначению

Классификация моделей с учетом стадий жизненного цикла разработки ПО, возможности раннего прогнозирования ошибок, архитектуры, оценки роста надежности представлена в работе [21], рисунок 8.

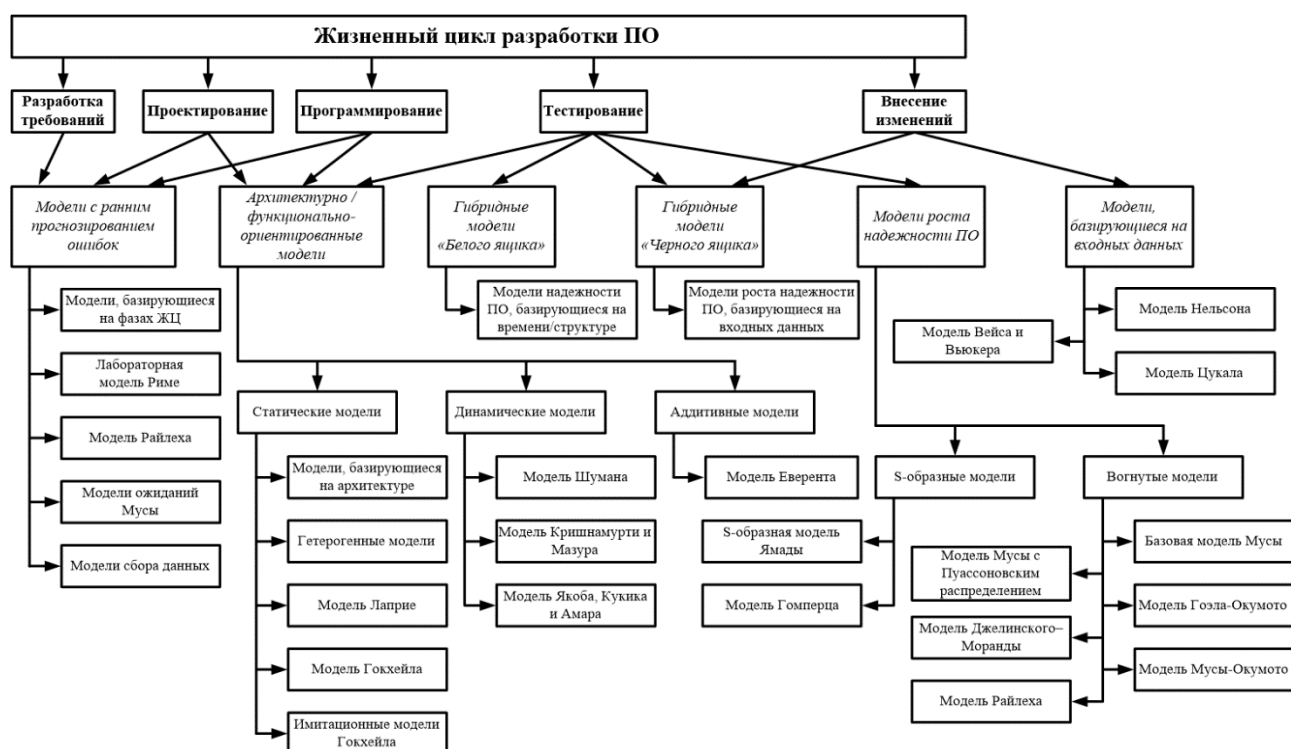


Рис. 8. Классификация моделей надежности ПО для различных стадий жизненного цикла

Заключение. Успешная разработка современного ПО является сложной задачей даже для опытных высококвалифицированных коллективов программистов. Отсутствие единой методики для оценки надежности программы обуславливает представленное множество моделей, каждая из которых имеет определенные недостатки. Выполненный в рамках статьи анализ представлен с целью систематизировать существующие модели надежности ПО, а рассмотренные классификации по различным критериям позволили представить их взаимосвязь.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фот, Ю. Д. Методы защиты информации : учебное пособие / Ю. Д. Фот. – Оренбург : ОГУ, 2019. – 230 с.
2. Липаев, В.В. Тестирование компонентов и комплексов программ. Учебник. – М.: СИНТЕГ, 2010. – 400 с.
3. Ермаков, А. А. Особенности комплексного оценивания надежности программного обеспечения / А.А. Ермаков, Д.А. Чувашова // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. – 2016. – № 15. – С. 12-17.
4. Липаев, В. В. Программно-технологическая безопасность информационных систем // Jet Info. – 1997. – №6/7(37/38). – 32 с.
5. Успенский, М. И. Сложности в оценке надежности программного обеспечения микропроцессорных защит / М. И. Успенский // Актуальные проблемы, направления и механизмы развития производительных сил Севера - 2022 : Сборник статей Восьмой Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). В 2-х частях, Сыктывкар, 21–23 сентября 2022 года. Том Часть II. – Иркутск: Общество с ограниченной ответственностью "Максима", 2022. – С. 178-184.
6. Наумов, А. А. Надежность программного обеспечения и методы ее повышения / А. А. Наумов, А. Р. Айдинян // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 2(49).
7. Учет фактора вторичных дефектов при оценке надежности программных средств / В. С. Харченко, А. А. Руденко, О. Н. Одарущенко, Е. Б. Одарущенко // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2013. – № 22(165). – С. 153-160.
8. Чернов, А. В. Классификация моделей надежности программного обеспечения / А. В. Чернов, И. Г. Парашенко // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4-2(23).
9. Моисеев, М. Ю. Итеративный алгоритм статического анализа для обнаружения дефектов в исходном коде программ / М.Ю. Моисеев // Информационно-управляющие системы. – 2009. – № 3(40). – С. 33-39.
10. Чекал, Е. Г. Надежность информационных систем : учебное пособие : в 2 ч. Ч. 1 / Е. Г. Чекал, А. А. Чичев. – Ульяновск : УлГУ, 2012. – 118 с.
11. Белов, Ю. С. Обзор методов прогнозирования дефектов программного обеспечения / Ю. С. Белов, Н. В. Юхименко // Программные продукты, системы и алгоритмы. – 2019. – № 1.
12. Ступина, А. А. Технология надежностного программирования задач автоматизации управления в технических системах : монография / А. А. Ступина, С. Н. Ежеманская. – Красноярск : СФУ, 2011. – 164 с.
13. Ковалев, И. В. Анализ проблем в области исследования надежности программного обеспечения: многоэтапность и архитектурный аспект / И. В. Ковалев // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2014. – № 3(55). – С. 78-92.
14. Волканов, Д. Ю. Исследование применимости моделей оценки надежности для разработки программного обеспечения с открытым исходным кодом / Д.Ю. Волканов, Д.А. Зорин // Прикладная информатика. – 2011. – № 2(32). – С. 26-32.
15. Осипенко, Н. Б. Надежность и качество программного обеспечения : практическое руководство / Н. Б. Осипенко, А. Н. Осипенко. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2015. – 45 с.
16. Гуров, В. В. Практические особенности использования моделей надежности программного обеспечения / В. В. Гуров // Вестник Национального исследовательского ядерного университета "МИФИ". – 2017. – Т. 6, № 5. – С. 458-465.
17. Анализ методов оценки надежности оборудования и систем. Практика применения методов / Н. В. Пакулин, Е. М. Лаврищева, А. Г. Рыжов, С. В. Зеленов // Труды Института системного программирования РАН. – 2018. – Т. 30, № 3. – С. 99-120.
18. Лаврищева, Е. М. Методы оценки надежности программных и технических систем / Е. М. Лаврищева, С. В. Зеленов, Н. В. Пакулин // Труды Института системного программирования РАН. – 2019. – Т. 31, № 5. – С. 95-108.

19. Шубинский, И. Б. Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа. – М.: «Журнал Надежность», 2012. – 296 с.
20. Хазин, М. Л. Диагностика и надежность автоматизированных систем : учебное пособие / М. Л. Хазин. – Екатеринбург : Уральский государственный горный университет, 2013. – 196 с.
21. Чернов, А. В. Классификация моделей надежности программного обеспечения / А. В. Чернов, И. Г. Паращенко // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4-2(23).

REFERENCES

1. Fot, Yu. D. *Metody zashchity informatsii : uchebnoye posobiye* [Information Security Methods: A Tutorial] / Yu. D. Fot. – Orenburg: OSU, 2019. – 230 p.
2. Lipaev, V. V. *Testirovaniye komponentov i kompleksov programm. Uchebnik* [Testing Components and Software Complexes. A Textbook]. – М.: SINTEG, 2010. – 400 p.
3. Ermakov, A. A. *Osobennosti kompleksnogo otsenivaniya nadezhnosti programmnogo obespecheniya* [Features of Integrated Software Reliability Assessment] / A. A. Ermakov, D. A. Chuvashova // *Informatsionnyye tekhnologii i problemy matematicheskogo modelirovaniya slozhnykh sistem* [Information Technologies and Problems of Mathematical Modeling of Complex Systems]. – 2016. – No. 15. – Pp. 12-17.
4. Lipaev, V. V. *Programmno-tekhnologicheskaya bezopasnost' informatsionnykh system* [Software and Technological Security of Information Systems] // *Jet Info*. – 1997. – No. 6/7 (37/38). – 32 p.
5. Uspensky, M. I. *Slozhnosti v otsenke nadezhnosti programmnogo obespecheniya mikroprotssornykh zashchit* [Difficulties in assessing the reliability of microprocessor protection software] / M. I. Uspensky // *Aktual'nyye problemy, napravleniya i mekhaniz-my razvitiya proizvoditel'nykh sil Severa - 2022* [Actual problems, directions and mechanisms for the development of productive forces of the North – 2022]: Collection of articles of the Eighth All-Russian scientific and practical conference (with international participation). In 2 parts, Syktyvkar, September 21-23, 2022. Volume Part II. – Irkutsk: Limited Liability Company "Maksim", 2022. – Pp. 178-184.
6. Naumov, A. A. *Nadezhnost' programmnogo obespecheniya i metody yeye povysheniya* [Software reliability and methods for improving it] / A. A. Naumov, A. R. Aidinyan // *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don]. – 2018. – No. 2 (49).
7. *Uchet faktora vtorichnykh defektov pri otsenke nadezhnosti programmnykh sredstv* [Taking into account the factor of secondary defects in assessing the reliability of software] / V. S. Kharchenko, A. A. Rudenko, O. N. Odarushchenko, E. B. Odarushchenko // *Nauchnyye vedomosti Bel-gorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika* [Scientific Bulletin of Belgorod State University. Series: Economics. Informatics]. – 2013. – No. 22 (165). – Pp. 153-160.
8. Chernov, A. V. *Klassifikatsiya modeley nadezhnosti programmnogo obespecheniya* [Classification of software reliability models] / A. V. Chernov, I. G. Parashchenko // *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don]. – 2012. – No. 4-2 (23).
9. Moiseev, M. Yu. *Iterativnyy algoritm staticheskogo analiza dlya obnaruzheniya defektov v iskhodnom kode programm* [Iterative algorithm of static analysis for detecting defects in the source code of programs] / M. Yu. Moiseev // *Informatsionno-upravlyayushchiye sistemy* [Information management systems]. – 2009. – No. 3(40). – Pp. 33-39.
10. Chekal, E. G. *Nadezhnost' informatsionnykh sistem : uchebnoye posobiye : v 2 ch. CH. 1* [Reliability of information systems: a tutorial: in 2 parts. Part 1] / E. G. Chekal, A. A. Chichev. – Ulyanovsk: ULSU, 2012. – 118 p.
11. Belov, Yu. S. *Obzor metodov prognozirovaniya defektov programmnogo obespecheniya* [Review of methods for predicting software defects] / Yu. S. Belov, N. V. Yukhimenko // *Programmnyye produkty, sistemy i algoritmy* [Software products, systems and algorithms]. – 2019. – No. 1.

12. Stupina, A. A. *Tekhnologiya nadezhnostnogo programmirovaniya zadach avtomatizatsii upravleniya v tekhnicheskikh sistemakh : monografiya* [Technology of reliability programming of control automation problems in technical systems: monograph] / A. A. Stupina, S. N. Ezhemanskaya. – Krasnoyarsk : SFU, 2011. – 164 p.
13. Kovalev, I. V. *Analiz problem v oblasti issledovaniya nadezhnosti programmnoho obespecheniya: mnogoetapnost' i arkhitekturnyy aspekt* [Analysis of problems in the field of software reliability research: multi-stage and architectural aspect] / I. V. Kovalev // *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika M.F. Reshetneva* [Bulletin of the Siberian State Aerospace University named after Academician M. F. Reshetnev]. – 2014. – No. 3 (55). – Pp. 78-92.
14. Volkanov, D. Yu. *Issledovaniye primenimosti modeley otsenki nadezhnosti dlya raz-rabotki programmnoho obespecheniya s otkrytym iskhodnym kodom* [Study of the applicability of reliability assessment models for open source software development] / D. Yu. Volkanov, D. A. Zorin // *Prikladnaya informatika* [Applied Informatics]. – 2011. – No. 2 (32). – Pp. 26-32.
15. Osipenko, N. B. *Nadezhnost' i kachestvo programmnoho obespecheniya : prakticheskoye rukovodstvo* [Software reliability and quality: a practical guide] / N. B. Osipenko, A. N. Osipenko. – Gomel: GSU im. F. Skorina, 2015. – 45 p.
16. Gurov, V. V. *Prakticheskiye osobennosti ispol'zovaniya modeley nadezhnosti programmnoho obespecheniya* [Practical Features of Using Software Reliability Models] / V. V. Gurov // *Vestnik Natsional'nogo issledovatel'skogo yadernogo universiteta "MIFI"* [Bulletin of the National Research Nuclear University "MEPHI"]. – 2017. – Vol. 6, No. 5. – Pp. 458-465.
17. *Analiz metodov otsenki nadezhnosti oborudovaniya i sistem. Praktika primeneniya metodov* [Analysis of Equipment and Systems Reliability Assessment Methods. Practice of Applying Methods] / N. V. Pakulin, E. M. Lavrishcheva, A. G. Ryzhov, S. V. Zelenov // *Trudy Instituta sistemnogo programmirovaniya RAN* [Proceedings of the Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences]. – 2018. – Vol. 30, No. 3. – Pp. 99-120.
18. Lavrishcheva, E. M. *Metody otsenki nadezhnosti programmnykh i tekhnicheskikh sistem* [Methods for assessing the reliability of software and technical systems] / E. M. Lavrishcheva, S. V. Zelenov, N. V. Pakulin // *Trudy Instituta sistemnogo programmirovaniya RAN* [Proceedings of the Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences]. – 2019. – Vol. 31, No. 5. – Pp. 95-108.
19. Shubinsky, I. B. *Funktsional'naya nadezhnost' informatsionnykh sistem. Metody analiza* [Functional reliability of information systems. Analysis methods]. – М.: "Reliability Magazine", 2012. – 296 p.
20. Khazin, M. L. *Diagnostika i nadezhnost' avtomatizirovannykh sistem : uchebnoye posobiye* [Diagnostics and reliability of automated systems: a tutorial] / M. L. Khazin. - Ekaterinburg: Ural State Mining University, 2013. – 196 p.
21. Chernov, A. V. *Klassifikatsiya modeley nadezhnosti programmnoho obespecheniya* [Classification of software reliability models] / A. V. Chernov, I. G. Paraschenko // *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don]. – 2012. – No. 4-2 (23).

Информация об авторах

Зеленская Наталья Андреевна – обучающаяся группы ПИ.1-21-1, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: perminoffnatalia@mail.ru

Названова Полина Олеговна – обучающаяся группы ПИ.1-21-1, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: nazvanovapolina@gmail.com

Асташков Николай Павлович – к. т. н., доцент, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: astashkovnp@yandex.ru

Authors

Zelenskaya Nataliya Andreevna – student of the group SE.1-21-1, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: perminoffnatalia@mail.ru

Nazvanova Polina Olegovna – student of the group SE.1-21-1, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: nazvanovapolina@gmail.com

Astashkov Nikolay Pavlovich – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Operational Work Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: astashkovnp@yandex.ru.

Для цитирования

Зеленская, Н. А. Анализ существующих моделей надежности программного обеспечения / Н.А. Зеленская, П.О. Названова, Н.П. Асташков // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. – 2025. – №2. – С. 35-46 – Режим доступа: <http://ismm-irgups.ru/toma/226-2025>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 01.07.2025)

For citations

Zelenskaya, N.A. Analiz sushchestvuyushchikh modeley nadezhnogo programmno obespecheniya [Analysis of existing software reliability models] / N.A. Zelenskaya, P.O. Nazvanova, N.P. Astashkov // Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal [Information technology and mathematical modeling in the management of complex systems: electronic scientific journal]. – 2025. No. 2. P. 35-46. [Accessed 01/07/25]