

УДК: 004.052.42

DOI: [10.47813/nto.2.2022.5.131-139](https://doi.org/10.47813/nto.2.2022.5.131-139) EDN: [OMVFSI](https://www.edn.ru/OMVFSI)



## Обзор средств моделирования транзакционной структуры программного обеспечения систем управления и обработки информации

Т.П. Мансурова<sup>1</sup>, Д.И. Ковалев<sup>1,2</sup>, В.А. Подоплелова<sup>2,3,\*</sup>,  
А.А. Яблокова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Красноярский краевой Дом науки и техники РосСНИО, Красноярск, Россия

<sup>2</sup>Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

<sup>3</sup>Сочинский государственный университет, Сочи, Россия

\*E-mail: [podoplelovava@mail.ru](mailto:podoplelovava@mail.ru)

**Аннотация.** В статье представлен обзор средств моделирования транзакционной структуры программного обеспечения систем управления и обработки информации. Рассмотрены источники, отражающие современную тенденцию, связанную с тем, что в настоящее время транзакционная обработка информации становится одним из важнейших аспектов, определяющих корректность производимых вычислений и целостность данных. Отмечается, что реализуемая в программном средстве модель транзакционных вычислений определяет, будет ли данное программное средство находиться в целостном состоянии и поддерживать требуемый уровень надежности систем управления и обработки информации. При этом следует учитывать, что транзакционная структура имеет определенную область применения, что также отражено в данном обзоре.

**Ключевые слова:** программное обеспечение, моделирование, транзакционная структура, обработка информации, система управления, надежность

## Review of tools for modeling the transactional structure of software for control and information processing systems

T.P. Mansurova<sup>1</sup>, D.I. Kovalev<sup>1,2</sup>, V.A. Podoplelova<sup>2,3,\*</sup>, A.A. Yablokova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Krasnoyarsk Regional Science and Technology City Hall, Krasnoyarsk, Russia

<sup>2</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>3</sup>Sochi State University, Sochi, Russia

\*E-mail: [podoplelovava@mail.ru](mailto:podoplelovava@mail.ru)

**Abstract.** The article presents an overview of the means for modeling the transactional structure of the software for control and information processing systems. Literature sources are considered, reflecting the current trend related to the fact that at present transactional processing of information is becoming one of the most important aspects that determine the correctness of calculations and data integrity. It is noted that the transactional computing model implemented in the software determines whether this software will be in an integral state and maintain the required level of reliability of control and information processing systems. At the same time, it should be taken into account that the transactional structure has a certain scope, which is also reflected in this review.

**Keywords:** software, modeling, transactional structure, information processing, control system, reliability

## 1. Введение

С наступлением компьютерной эры компьютеры играют очень важную роль в системах обработки информации и управления [1-9]. Растущая конкуренция и высокие затраты на разработку ПО усилили потребность в количественной оценке качества программного обеспечения, а также в измерении и контроле уровня предоставляемого качества ПО [10-16]. Существуют различные факторы качества программного обеспечения, определенные стандартом MC Call и ISO 9126, однако надежность программного обеспечения является наиболее важным и наиболее измеримым аспектом качества программного обеспечения [11]. В данном обзоре делается попытка дать общее представление о моделировании транзакционной структуры программного обеспечения, а также о метриках и моделях, используемых для этого. Важно правильное использование принципов разработки программного обеспечения как на этапе проектирования, так и на этапе сопровождения и обслуживания программного обеспечения [12].

Источники [1-29], используемые в данном обзоре, выбраны в связи с тем, что в настоящее время транзакционная обработка информации становится одним из важнейших аспектов, определяющих корректность производимых вычислений и целостность данных, отметим, что реализуемая в программном средстве модель транзакционных вычислений, по сути, определяет, будет ли данное программное средство находиться в целостном состоянии и поддерживать требуемый уровень надежности систем управления и обработки информации. Поэтому возникает объективная потребность моделирования транзакций на самых ранних этапах разработки программного средства, в том числе, и в процессе моделирования его программной архитектуры. В обзорах [13] и [16] приведен анализ работ, представленных на Международном научном семинаре по компьютерному моделированию, информационным и вычислительным технологиям. В качестве структуры, описывающей транзакционные вычисления в рамках общей программной архитектуры системы, выступает транзакционная структура [17-22].

## 2. Анализ взаимосвязи надежности ПО и транзакционной структуры

Надежность программного обеспечения определяется как вероятность безотказной работы программного обеспечения в течение заданного периода времени в заданной среде [23]. Отказы любого продукта возникают из-за сбоев или наличия

неисправностей в системе. Поскольку программное обеспечение не «изнашивается» и не «старее», как механическая или электронная система, отказы программного обеспечения в первую очередь связаны с ошибками в коде или структурными ошибками в программном обеспечении. Надежность — это вероятностная мера, которая предполагает, что возникновение отказа программного обеспечения является случайным явлением. Случайность означает, что сбой нельзя точно предсказать. Случайность возникновения отказов необходимо учитывать при моделировании надежности ПО. В работах [12, 24-26] предполагается, что надежностное моделирование следует применять к системам размером более 5000 LOC.

Это же относится и к модели транзакционной структуры программного средства, элементами которой выступают транзакции, т.е. работы, выполняемые в рамках транзакций, объекты, связываемые с транзакцией, и связи между транзакциями [25]. Следует учитывать и жизненный цикл транзакции.

Для обеспечения возможности моделирования транзакционной структуры необходима разработка средств описания её элементов и связей, в том числе представление с помощью языков моделирования, стандартизируемых и используемых на практике при разработке программных средств. Решением вышеуказанной задачи, например, является способ описания транзакционной структуры на языке UML.

Отмечается, что транзакционная структура имеет определенную область применения. Существуют случаи, когда при моделировании программной архитектуры использование транзакционной структуры может быть нецелесообразно. Примером может служить программное средство, которое будет использоваться в однопользовательском режиме, и, при этом, не выдвигается содержательных требований к его надежности. В целом, можно считать, что наибольший положительный эффект от моделирования транзакционной структуры будет получен в случае, когда:

- участниками транзакций становятся бизнес-объекты, например, при построении систем в трехзвенной архитектуре [17-21];
- осуществляется создание распределенной, возможно неоднородной, базы данных [22-26].

### 3. Реализация IDEF методологии для моделирования транзакционной структуры

В соответствии с предложенной методологией разработки для представления процесса создания компонента программного обеспечения используются средства IDEF0.

Основой для разработки компонента является задание на разработку, в котором описаны функциональные требования к компоненту, то есть задачи, которые он должен выполнять, а также требования к надежности, потреблению ресурсов, времени исполнения транзакций и т.д. При разработке компонента исполнители руководствуются синтаксисом языка Си, ограничениями выбранной аппаратной платформы и методом разработки компонент, который включает в себя особенности разработки функций, которые будут исполняться в качестве потоков операционной системы реального времени (ОСРВ) FreeRTOS [6], правила обмена данными между потоками, команды и принципы работы планировщика, и остальные технические моменты, оказывающие непосредственное влияние на процесс разработки. «Механизмами», обеспечивающими процесс разработки компонент, являются разработчик, тестировщик, интегрированная среда разработки и средство электронного документооборота.

В итоге разработки мы получим разработанный компонент и отчет о его разработке, включающий полученные в ходе функциональных испытаний характеристики [27-29] (ресурсоемкость, оценка надежности, задержки, достигнуты ли требуемые показатели).

Общая схема процесса разработки компонента в нотации IDEF0 подвергается детальной декомпозиции.

Декомпозиция отображает основные шаги, необходимые для разработки компонент. На первом шаге разработчик, изучив задание на разработку, создает новый компонент в базе данных, указывая все необходимые атрибуты. Интегрированная среда разработки автоматически генерирует часть кода и открывает его в редакторе. Разработчик переходит к непосредственному программированию компонента с учетом синтаксиса языков C++, C#, Java, Objective-C и т.п., метода разработки компонент и ограничений аппаратной платформы ОСРВ.

Далее происходит отладка компонента, выявление и устранение ошибок. Когда все явные ошибки устранены, компонент передается на тестирование и верификацию. Если в результате этого шага выявляются сбои в работе компонента, или его несоответствие заданным требованиям, компонент возвращается на доработку, после

чего снова проходит этап тестирования и верификации, пока не будет признан удовлетворяющим всем поставленным требованиям.

Применяемая методология IDEF0 позволяет описать и представить функциональное моделирование сложных процессов, связанных не только с разработкой, но и тестированием и долговременным сопровождением программного обеспечения. Является наглядным инструментарием моделирования и эффективным средством принятия управленческих решений.

#### 4. Заключение

Таким образом, IDEF методологии для решения задач моделирования сложных программных систем позволяют отображать и анализировать модели деятельности широкого спектра таких систем в различных разрезах. При этом глубина детализации описания процессов и объектов, как представлено нами в обзоре литературных источников, может быть различной, в зависимости от требований в каждом отдельном случае.

Работы [6-9] демонстрируют такие требования для аппаратно-программной поддержки систем производственно-экологического мониторинга в режиме реального времени.

В работах [5, 18-22, 28, 29] представлен анализ для процессов транзакционной обработки информации в случае периодичных задач в распределенных автоматизированных информационно-управляющих системах.

Решение задач управления развитием надежных кластерных структур информационных систем также отображается моделями семейства IDEF [13-17]. В частности, методология IDEF1 обеспечивает эффективное моделирование информационных потоков внутри системы, позволяя отображать и анализировать их структуру и взаимосвязи. Отметим, что семейство IDEF содержит множество стандартов, и на текущий момент широко известны стандарты от IDEF0 до IDEF14. Например, IDEF1X (IDEF1 Extended) – Data Modeling – методология моделирования баз данных на основе модели «сущность-связь». Применяется для построения информационной модели, которая представляет структуру информации, необходимой для поддержки функций производственной системы или среды [1-9]. Метод IDEF1, разработанный Т. Ramey, также основан на подходе Peter Chen и позволяет построить модель данных, эквивалентную реляционной модели в третьей нормальной форме [15].

В настоящее время на основе совершенствования методологии IDEF1 создана её новая версия – методология IDEF1X, которая является удобным инструментом для описания структуры данных разрабатываемой системы, особенно, если планируется использование реляционной базы данных MySQL 5.7.

Использование средств визуального моделирования IDEF1X позволяет смоделировать транзакционную структуру базы данных разрабатываемой системы, выявить ее проблемные места, внести необходимые корректировки. Таким образом, мы получаем итоговую структуру базы данных, которую реализуем средствами СУБД MySQL 5.7. Данный подход позволяет получить структуру данных еще до реализации реальной базы данных, скомпоновать оптимальную структуру, выявить все необходимые транзакционные связи.

### Список литературы

1. Ковалев, И. В. Оптимизация обработки данных в распределенных образовательных средах / И. В. Ковалев, П. В. Зеленков, С. А. Яркова, С. Ф. Шевчук // Программные продукты и системы. – 2007. – № 3. – С. 28.
2. Saramud, M. V. Software interfaces and decision block for the execution environment of multi-version software in real-time operating systems / M. V. Saramud, I. V. Kovalev, V. V. Losev, M. O. Petrosyan // International Journal on Information Technologies and Security. – 2018. – Т. 10. – № 1. – P. 25-34.
3. Yuronen, Yu.P. The concept of creation of information system for environmental monitoring based on modern gis-technologies and earth remote sensing data / Yu. P. Yuronen, E. A. Yuronen, V. V. Ivanov, I. V. Kovalev, P. V. Zelenkov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Scientific and Research Conference on Topical Issues in Aeronautics and Astronautics (Dedicated to the 55th Anniversary from the Foundation of SibSAU). – 2015. – 012023. Doi: 10.1088/1757-899X/94/1/012023
4. Kovalev, I. Model implementation of the simulation environment of voting algorithms, as a dynamic system for increasing the reliability of the control complex of autonomous unmanned objects / I. Kovalev, V. Losev, M. Saramud, M. Petrosyan // MATEC Web of Conferences. – 2017. – 04011. doi: 10.1051/matecconf/201713204011
5. Алексеев, Н. А. Планирование периодичных задач при распределенной обработке информации / Н. А. Алексеев, О. В. Богданова, И. В. Ковалев, Р. Ю. Царев //

- Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2010. – Т. 8. – № 3. – С. 11-14.
6. Saramud, M. V. Application of freertos for implementation of the execution environment of real-time multi-version software / M. V. Saramud, I. V. Kovalev, V. V. Losev, M. O. Petrosyan // International Journal on Information Technologies and Security. – 2018. – Т. 10. – № 3. – С. 75-82.
  7. Ковалев, Д. К вопросу выбора операционной системы реального времени для аппаратно-программной поддержки систем производственно-экологического мониторинга / Д. Ковалев, Т. Мансурова, Я. Тынченко // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – 1(2). – С. 46-63. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-2-46-63>
  8. Engel, E. A. Intelligent control system of autonomous objects / E. A. Engel, N. E. Engel, I. V. Kovalev, V. V. Brezitskaya, G. A. Prohorovich // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – V. 173. 5th International Workshop on Mathematical Models and their Applications 2016, IWMMA 2016. – 2017. – 012024. doi: 10.1088/1757-899X/173/1/012024
  9. Saramud, M.V. On the application of a modified ant algorithm to optimize the structure of a multiversion software package / M. V. Saramud, I. V. Kovalev, V. V. Losev, M. V. Karaseva, D. I. Kovalev // Lecture Notes in Computer Science. – 2018. – Т. 10941 LNCS. – P. 91-100.
  10. Соммервилл, И. Инженерия программного обеспечения / И. Соммервилл. – М.: Вильямс, 2002.
  11. Липаев, В. В. Надежность и функциональная безопасность комплексов программ реального времени / В. В. Липаев. – М.: ЗАО «Светлица», 2013.
  12. Липаев, В. В. Проектирование и производство сложных заказных программных продуктов / В. В. Липаев. – М.: СИНТЕГ, 2011.
  13. Ворошилова, А. Обзор III Международного семинара MIP: Computing-2021: Компьютерное моделирование, информационные и вычислительные технологии / А. Ворошилова, А. Кузнецов // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – № 1(2). – С 1-21. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-2-1-21>
  14. Kovalev, I. V. The mathematical system model for the problem of multi-version software design / I. V. Kovalev, N. N. Dgioeva, M. Ju. Slobodin // Proceedings of

- Modelling and Simulation, MS'2004. AMSE International Conference on Modelling and Simulation, MS'2004. sponsors: University Lyon 1, France, Assoc. for the Adv. Model. and Simul. Tech. Enterprises, AMSE, French Research Council, CNRS, Rhone-Alpes Region, Hospitals of Lyon. Lyon-Villeurbanne. – 2004. EDN: MRCVCZ
15. Антамошкин, А. Н. Математическое и программное обеспечение отказоустойчивых систем управления: монография. Сибирский федеральный университет / А. Н. Антамошкин, И. В. Ковалев, Р. Ю. Царев. – Красноярск, 2011.
  16. Ковалев, И. Обзор V Международного научного семинара по компьютерному моделированию, информационным и вычислительным технологиям - MIP: Computing-V 2022 / И. Ковалев, А. Кузнецов, А. Ворошилова // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2022. – № 2(2). – С. 0215-0230. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-2-0215-0230>
  17. Ковалев, И. В. Управление развитием надежных кластерных структур информационных систем / И. В. Ковалев, Р. Ю. Царев, А. В. Прокопенко, Н. Н. Джигоева // Программные продукты и системы. – 2010. – № 2. – С. 4.
  18. Ковалев, И. В. Архитектурная надежность программного обеспечения информационно-управляющих систем: монография / И. В. Ковалев, Р. Ю. Царев, Д. В. Капулин. – Красноярск: Красноярский гос. аграрный ун-т, 2011.
  19. Aljarbough, A. Intellectualization of information processing systems for monitoring complex objects and systems / A. Aljarbough, M. S. Ahmed, M. Vaquera, B. D. Dirting // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2022. – 2(1). – P. 9-17. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-1-9-17>
  20. Kovalev, I. V. The control of developing a structure of a catastrophe-resistant system of information processing and control / I. V. Kovalev, P. V. Zelenkov, M. Y. Tsarev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. XVII International Scientific Conference "Reshetnev Readings". – 2015. – 012008. doi: 10.1088/1757-899X/70/1/012008
  21. Kulyagin, V. A. N-version design of fault-tolerant control software for communications satellite system / V. A. Kulyagin, R. Y. Tsarev, A. V. Prokopenko, A. Y. Nikiforov, I. V. Kovalev // International Siberian Conference on Control and Communications,



- SIBCON 2015 - Proceedings. – 2015. – С. 7147116. doi: 10.1109/SIBCON.2015.7147116
22. Ковалев, И. В. Модели поддержки многоэтапного анализа надежности программного обеспечения автоматизированных систем управления / И. В. Ковалев, Р. Ю. Царев, М. А. Русаков, М. Ю. Слободин // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2005. – № 2. – С. 30-35.
23. 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.
24. Ковалев, И. В. Расчет надежности отказоустойчивых архитектур программного обеспечения / И. В. Ковалев, А.В. Новой // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2007. – № 4(17). – С. 14-17.
25. Ковалев, И. В. Оценка надежности мультиверсионной программной архитектуры систем управления и обработки информации / И. В. Ковалев, А. В. Новой, А. В. Штенцель // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2008. – № 3(20). – С. 50-52.
26. Kovalev, I. V. Programmatic support of the analysis of cluster structures of failure-resistant information systems / I. V. Kovalev, E. A. Engel, R. Yu. Tsarev // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2007. – Т. 41. – № 3. – С. 89-91.
27. Зенюткин, Н. О способах формирования информационных структур для моделирования объектов, сред и процессов / Н. Зенюткин, Д. Ковалев, Е. Туев, Е. Туева // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – № 1(1). – С. 10-22. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-1-10-22>
28. Ковалев, И. В. Программно-алгоритмическое обеспечение методов оценки надежности распределенных компьютерных систем / И. В. Ковалев, В. А. Морозов, Р. Ю. Царев // Системы управления и информационные технологии. – 2006. – № 4(26). – С. 26-30.
29. Ковалев, И. В. Анализ архитектурной надежности программного обеспечения информационно-управляющих систем / И. В. Ковалев, Р. Ю. Царев, О. И. Завьялова // Приборы. – 2010. – № 11(125). – С. 24-26.