СЕКЦИЯ 1
Кораблестроение

Цыбанов К.В.
АО «ЦКБ МТ «Рубин», Санкт-Петербург, Россия

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ В ЧАСТИ НАДЕЖНОСТИ

Целью исследования является повышение эффективности проектирования объектов морской техники в части надежности. Объектом исследования является уменьшение трудоемкости процесса построения структурно-функциональных схем для анализа надежности. Предложенный способ за счет независимости используемых модулей обеспечивает возможность многопользовательского построения схем и увеличивает их наглядность. По результатам опытной эксплуатации отмечено уменьшение ошибок, времени построения и времени согласования. Использование предлагаемого способа позволяет уменьшить трудоемкость процесса построения структурно-функциональных схем, что особенно актуально при повышении эффективности проектирования объектов морской техники в части надежности.

Ключевые слова: надежность, анализ надежности, структурно-функциональная схема надежности, объект морской техники.

Автор заявляет об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Для цитирования: Цыбанов К.В. Повышение эффективности проектирования объектов морской техники в части надежности. Труды Крыловского государственного научного центра. 2018; специальный выпуск 1: 9–14.

УДК 629.5.01:629.5.015.4 DOI: 10.24937/2542-2324-2018-1-S-I-9-14

SECTION 1
Shipbuilding

Tsibanov K.
CDB ME Rubin, St. Petersburg, Russia

IMPROVING DESIGN PROCESS EFFICIENCY FOR MORE RELIABLE MARINE VESSELS

The purpose of this study is to improve the design process efficiency for more reliable marine vehicles. The objective is to reduce the efforts required to generate structural-functional schemes for reliability analysis. The suggested method enables multi-user generation of more representative schemes due to independent modules. Trial operation shows fewer errors, shorter time of generation and coordination. The proposed method saves efforts in generation of structural-functional schemes, which is particularly important in improving the design process efficiency for more reliable marine vehicles.

Key words: reliability, analysis of reliability, structural-functional scheme of reliability, marine vehicle.

Author declares lack of the possible conflicts of interests.

For citations: Tsibanov K. Improving design process efficiency for more reliable marine vessels. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2018; special issue 1: 9–14 (in Russian).

UDC 629.5.01:629.5.015.4 DOI: 10.24937/2542-2324-2018-1-S-I-9-14

Введение

Introduction

Одним из методов анализа надежности объектов морской техники (ОМТ) является построение и анализ структурной схемы надежности (также известной как структурно-функциональная схема надежности, или как RBD в зарубежных странах). Разработка ОМТ со сложной структурой и большим количеством составных частей является очень трудоемкой работой. Для уменьшения трудоемкости предлагается модульный способ построения структурно-функциональных схем надежности (СФС) ОМТ. Способ заключается в представлении в СФС систем ОМТ как отдельных (независимых) модулей.

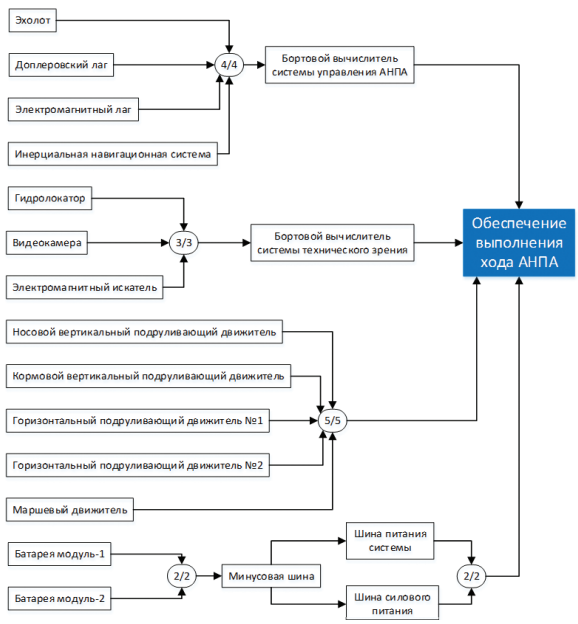


Рис. 1. СФС выполнения режима хода автономным необитаемым подводным аппаратом

Fig. 1. Structural-functional scheme (SFS) for AUV

Структурно-функциональная схема надежности

Structural-functional scheme of reliability

СФС представляет собой графическое изображение работоспособного состояния системы или объекта. Она показывает логические связи входящих в ее состав элементов (изделий и подсистем), необходимых для выполнения рассматриваемого режима.

Зачастую в СФС, построенных одним человеком, целиком отсутствует наглядность. Для примера на рис. 1–2 приведены две СФС выполнения режима хода для различных ОМТ – автономного необитаемого подводного аппарата и подводной лодки.

СФС выполнения режима хода автономным необитаемым подводным аппаратом (АНПА) представлена на рис. 1 целиком. Для подводной лодки на

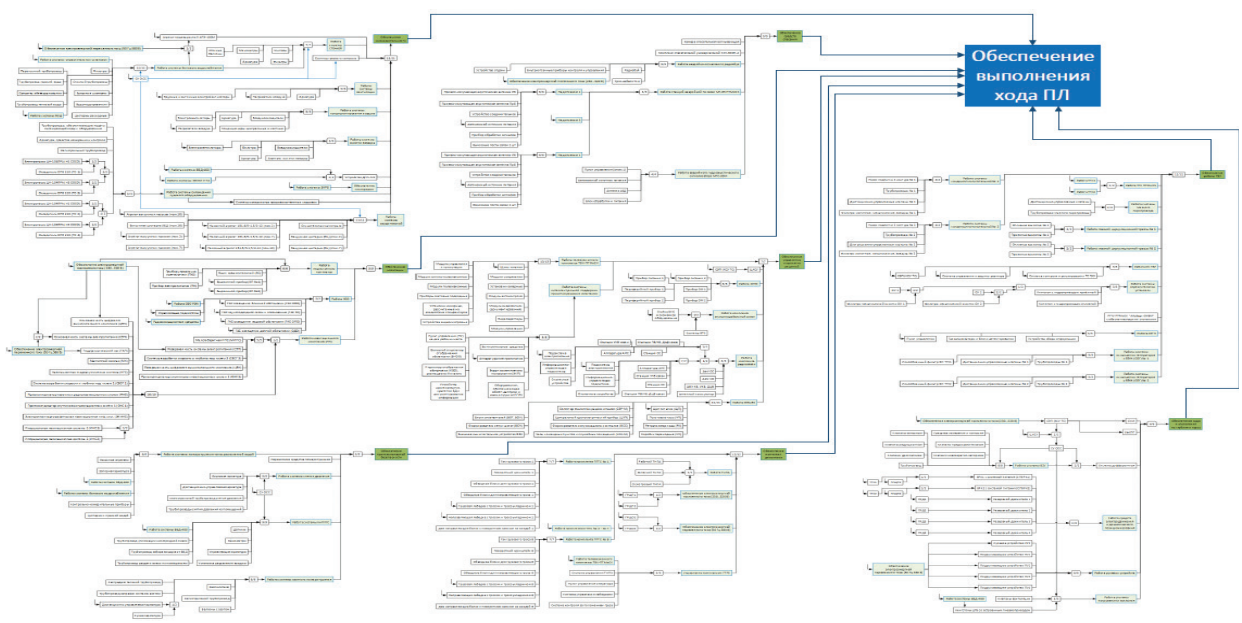


Рис. 2. Часть СФС выполнения режима хода подводной лодкой

Fig. 2. Structural-functional scheme for submarine

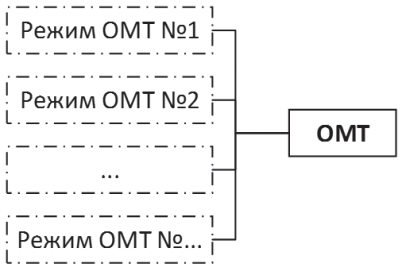


Рис.3. Перечень режимов ОМТ

Fig. 3. List of operating conditions for marine vehicles

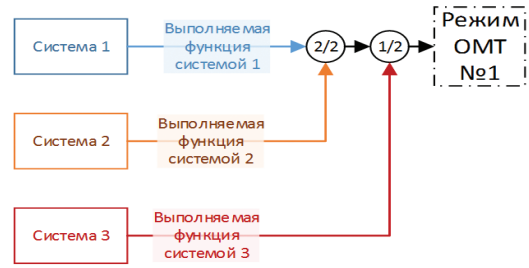


Рис.4. Функции и системы, обеспечивающие выполнение режима ОМТ

Fig. 4. Functions and systems supporting the marine vehicle operating mode

рис. 2, в силу сложности ее структуры и большого количества составных частей, СФС представлена только частично.

Также, как видно из рис. 1–2, трудоемкость построения СФС зависит от сложности структуры ОМТ и количества его составных частей – систем, устройств и оборудования.

Для анализа надежности ОМТ со сложной структурой и большим количеством составных частей, таких как подводная лодка, существующий процесс построения СФС представляет значительную сложность:

- требуется обработка большого количества информации о функционировании всех составных частей ОМТ одним человеком, а следовательно, затруднительна проверка и одновременная работа над построением СФС для нескольких человек;
- после получения отсутствующих или измененных исходных данных по составу и функционированию оборудования составных частей ОМТ СФС может требовать существенной корректировки – оперативное внесение изменений в режиме «реального времени» затруднительно.

Для оптимизации процесса (увеличения наглядности, и как следствие, уменьшения трудоемкости и количества ошибок) предлагается модульный способ построения СФС.

Модульный способ

Modular method

Модульный способ построения заключается в формировании основной части СФС ОМТ, состоящей из крупных независимых модулей, и последующей их детализации. Под модулем понимается система (подсистема), ее требования к внешним ресурсам и выполняемые ей функции. Детализация модуля заключается в раскрытии состава и функциональных связей составных частей системы.

Наглядность модулей и их независимость друг от друга позволяет:

- выполнять детализацию одновременно по нескольким системам;
- упростить процесс проверки СФС и согласования с разработчиками систем;
- оперативно вносить изменения в СФС ОМТ;
- проводить анализ СФС на максимальный уровень глубины детализации в любой момент проектирования.

Процесс формирования СФС ОМТ модульным способом представлен на рис. 3–6 и включает следующие операции:

1. Определение перечня режимов ОМТ (например, ход, всплытие, и применение основного комплекса, и другие).
2. Для каждого режима ОМТ – определение номенклатуры функций и систем, обеспечивающих его выполнение (с учетом резервирования).
3. Для каждой из систем – определение требуемых внешних ресурсов (формирование модулей).
4. Определение номенклатуры систем, обеспечивающих каждый из ресурсов (с учетом резервирования).
5. Повторение пунктов 3 и 4 до полного формирования основной части СФС ОМТ.

В получившейся основной части СФС ОМТ каждый модуль можно детализировать независимо.

Для этого необходимо:

- построить СФС системы из данного модуля;
- определить элемент (элементы) СФС системы, которые обеспечивают выполнение функции (функций) системой;
- определить элемент (элементы) СФС системы, которые требуют внешние для модуля ресурсы.

Остальная часть СФС ОМТ остается без изменений. Пример детализации модуля представлен на рис. 7.

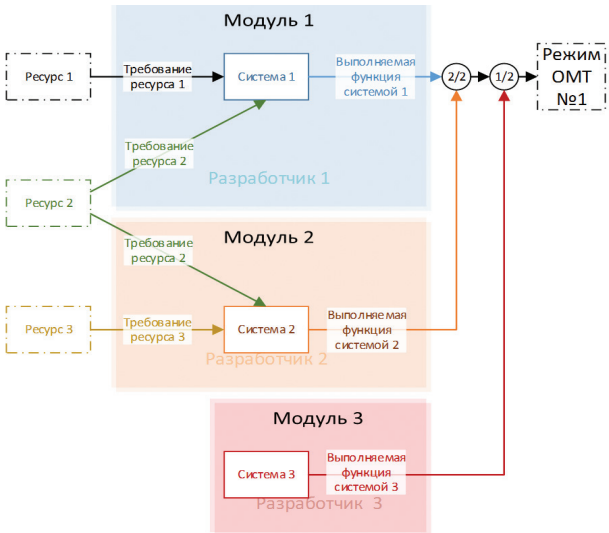


Рис.5. Определение требуемых ресурсов (формирование модулей)

Fig. 5. Definition of required resources (shaping of modules)

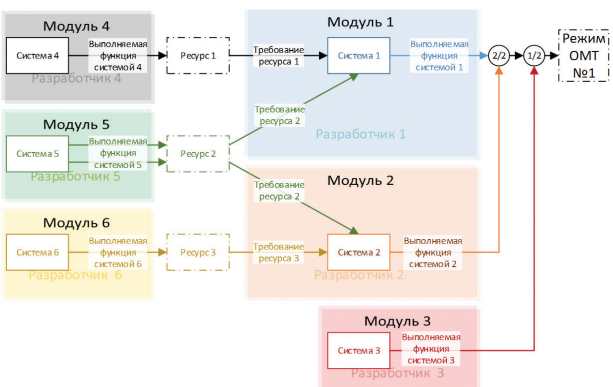


Рис.6. Определение модулей, обеспечивающих каждый из ресурсов

Fig. 6. Definition of modules supporting each resource

Пример практического применения

Practical application

В рамках технического обоснования безопасности существует задача расчета вероятности расхолаживания главной энергетической установки (ГЭУ). Расчет проводится с использованием СФС функции отвода тепла ГЭУ – каналов расхолаживания:

- отвод тепла 1 очереди через парогенератор и паротурбинную установку (главная циркуляционная трасса, конденсатно-питательная система, система 1 контура, система 3 контура);
- отвод тепла 1 очереди через систему аварийного расхолаживания (САР);
- отвод тепла 1 очереди через теплообменники (ТО) 1–3 очереди (система 1 контура, система 3 контура).

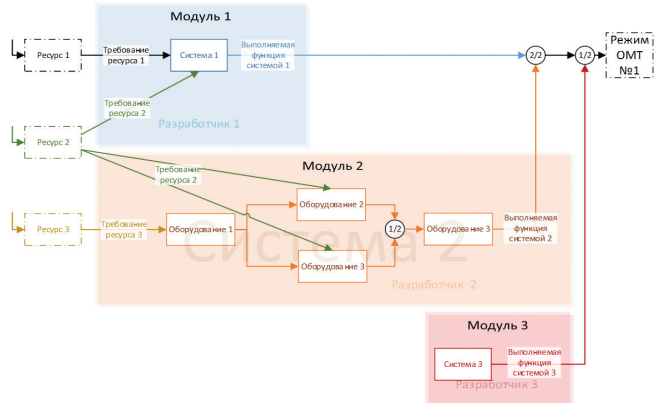


Рис.7. Пример детализации модуля 2 в основной части СФС ОМТ

Fig. 7. Example of module 2 in the core SFS part

На рис. 8 показано, как каналы расхолаживания ГЭУ представлены в СФС.

Для каждого канала определены системы, обеспечивающие в каждом из каналов циркуляцию теплоносителя и их требования к ресурсам. Например, для канала расхолаживания «Отвод тепла первой очереди через парогенератор и паротурбинную установку» определено, что его обеспечивают:

- система 1 очереди;
- конденсатно-питательная система (КПС);
- система главной циркуляционной трассы (ГЦТ);
- система 3 очереди.

КПС для режима расхолаживания ГЭУ обеспечивает подачу конденсата из конденсатосборников к парогенераторам. Для выполнения своей функции ей необходимы следующие ресурсы:

- вода (обеспечивают секции главного конденсатора – СГК);
- электроэнергия для работы электронасосов (обеспечивает электроэнергетическая система – ЭЭС);
- управление электронасосами (обеспечивает комплексная система управления техническими средствами – КСУ ТС)
- управление арматурой (обеспечивает система дистанционного управления арматурой паротурбинной установки – ДУА ПТУ).

Описанная часть СФС расхолаживания ГЭУ для

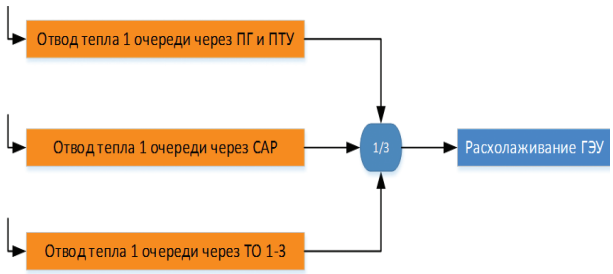


Рис.8. Каналы расхолаживания ГЭУ

Fig. 8. Channels of cooling the main power plant

канала «Отвод тепла первой очереди через парогенератор и паротурбинную установку» представлена на рис. 9. Аналогично были определены модули (выполняемые функции и требуемые ресурсы) для всех систем, участвующих в расхолаживании ГЭУ.

При наличии данных по безотказности систем сформированная СФС расхолаживания ГЭУ готова к проведению расчета безотказности. Однако для анализа критичности и последствий отказов необходимо детализировать данную СФС. По мере получения исходных данных от разработчиков системы в СФС ОМТ были детализированы. Детализация модулей каждой системы проводилась независимо от других. При необходимости связи между системами (требуемые ресурсы и выполняемые функции) уточ-

Рис.9. Часть СФС расхолаживания ГЭУ

Fig. 9. SFC part of main power plant cooling

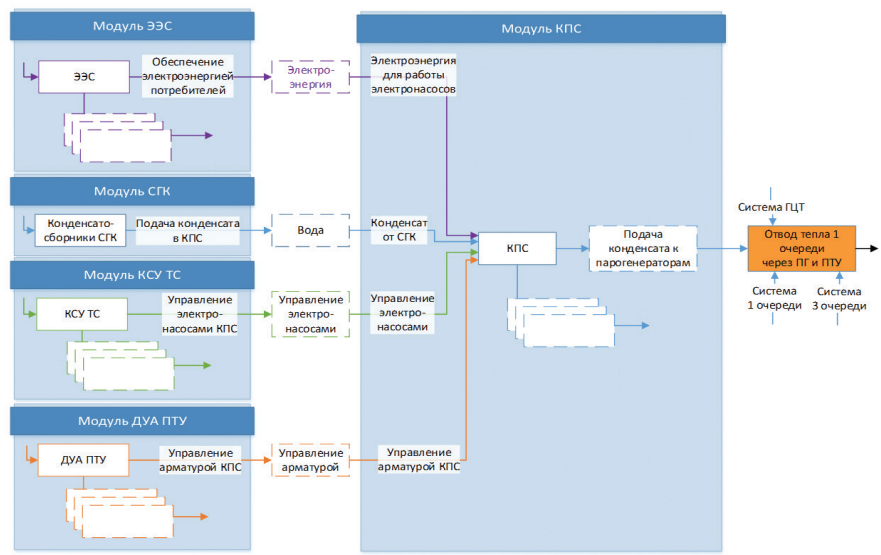
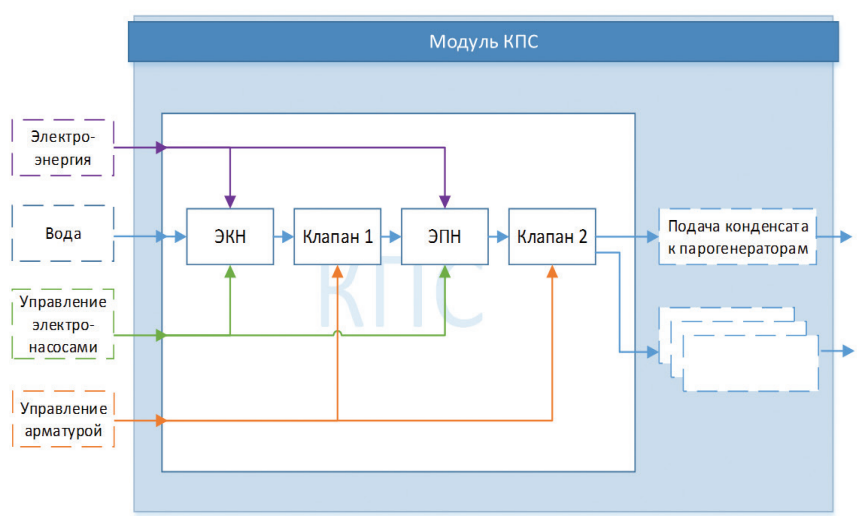


Рис.10. Детализация системы КПС в СФС расхолаживания ГЭУ

Fig. 10. Details of condensate-feed system in SFS of main power plant cooling



нялись. Пример детализации модуля КПС в СФС ОМТ представлен на рис. 10.

Заключение

Conclusion

Предложенный модульный способ построения СФС был реализован в работе по техническому обоснованию безопасности ГЭУ подводной лодки. Данный способ показал свою эффективность в сокращении трудоемкости построения СФС со сложной структурой и большим количеством составных частей:

- одновременное выполнение детализации нескольких модулей снизило нагрузку на сотрудников, что привело к сокращению количества ошибок и уменьшению времени построения СФС расхолаживания ГЭУ более чем в два с половиной раза;
- наглядность каждой СФС системы позволила уменьшить время, необходимое на согласование и проверку СФС с разработчиками систем, в полтора раза.

Модульное построение СФС рекомендуется проводить на первом этапе проектирования. Такой способ построения позволит оперативно вносить изменения в СФС ОМТ и выполнять анализ безотказности в любой момент проектирования. При этом анализ будет возможен при отсутствии данных по составу, функционированию и показателям надежности составных частей некоторых систем.

Увеличение скорости построения СФС ОМТ, уменьшение количества ошибок и внесение изменений в конструкцию до утверждения проекта существенно повышают эффективность проектирования ОМТ в части надежности.

Данный способ построения СФС ОМТ реализован в информационно-программном комплексе анализа надежности и безопасности «Надежда», введенном в промышленную эксплуатацию в АО «ЦКБ МТ «Рубин». В дальнейшем планируется применение модульного способа для построения модели ОМТ и оценки рисков аварий.

Библиографический список

References

1. *Рябинин И.А.* Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПБ.: Издательство СПбГУ, 2007. [*Ryabinin I.A.* Reliability and safety of structurally complex systems. SPb.: Izd-vo SPbGU, 2007. (In Russian)].
2. *Козлов Б.А., Ушаков И.А.* Справочник по расчету надежности. М.: Советское радио, 1975. [*Kozlov B.A. Ushakov I.A.* Handbook for reliability calculation. M.: Sovetskoe radio, 1975. (In Russian)].
3. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения. [GOST 27. 002-2015. Dependability of industrial products. Terms and definitions. (In Russian)].
4. ГОСТ 27.301-95 Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. [GOST 27.301-95. Dependability of industrial products. Calculation of dependability. Basic principles. M.: IPK Izd-vo standartov, 1996. (In Russian)].
5. ГОСТ Р 51901.5-2005 Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности. [GOST R5 1901.5-2005. Risk management. Guide for application of application of analysis techniques for dependability. (In Russian)].
6. ГОСТ Р 51901.14-2005 Менеджмент риска. Метод структурной схемы надежности. [Risk management. Dependability block diagram method. (In Russian)].

Сведения об авторе

Цыбанов Кирилл Владимирович, инженер 2 категории АО «ЦКБ МТ «Рубин». Адрес: 191119, Санкт-Петербург, улица Марата, д. 90. Тел.: 8 (812) 494-18-87; E-mail: tcybanov@gmail.com.

About the author

Tsibanov K., Engineer 2nd category CDB ME Rubin. Address: Ul. Marata 90, St. Petersburg, 191119, Russia. Tel.: 8 (812) 494-18-87; E-mail: tcybanov@gmail.com.

Поступила / Received: 15.02.18
Принята в печать / Accepted: 18.04.18
© Цыбанов К.В., 2018