

DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-5-885-892

DETERMINATION OF THE OPTIMAL PERIOD FOR COMPUTATIONS CONTROL IN COMPLEXES OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS PROGRAMS

K. P. Goloskokov, V. V. Korotkov, A. A. Astapkovich

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The purpose of the study is to determine the optimal period for monitoring calculations in complex software complexes of automated control systems. To achieve this goal, it is necessary to solve such problems as the analysis of periodic control systems, which boils down to determining the performance costs of computing systems for control, as well as ensuring a minimum of these costs. Theoretical foundations and descriptions of the process of evaluating the effectiveness of the automated control systems functioning are given. A rationale for the method of determining the optimal period for monitoring calculations in software complexes of the automated control systems is provided in the paper. An analytical study of control systems is carried out. The difference between the considered problem setting and the existing ones lies in the fact that the accuracy of error detection by the periodic control system is taken into account, while it is taken into account that for real control systems the probability of error detection is quite high. Thus, the results of studying the operational periodic control systems have shown that the main parameters that affect the optimal period of control are the mean time between failures. The dependence of the optimal control period on the probability of recovery is shown for different values of the duration of recovery by a reliable method. As the probability decreases, the optimal control period also decreases, which is associated with the need to spend a large proportion of the time on restoration using a reliable method; the corresponding increase in average unit costs can be compensated by an increase in the frequency of control procedures, i. e. a decrease in the control period. The dependence of the minimum average unit cost of control and the optimal period of its implementation on the average time between the errors appearance is given. With constant durations of control and recovery procedures and constant error detection probability, the optimal control period decreases, and the minimum average unit cost increases somewhat with a decrease in the average time between failures. This can be explained as follows: the more often an error can occur, the more often you need to control in order to reduce the losses due to working with the error.

Keywords: automated system, management, efficiency, functioning, optimal period, control of calculations, costs, software, errors.

For citation:

Goloskokov, Konstantin P., Vitaliy V. Korotkov, and Aleksey A. Astapkovich. "Determination of the optimal period for computations control in complexes of automated control systems programs." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.5 (2023): 885–892. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-5-885-892.

УДК 338.45:65:004

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРИОДА КОНТРОЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ В КОМПЛЕКСАХ ПРОГРАММ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

К. П. Голоскоков, В. В. Коротков, А. А. Астапкович

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Целью настоящего исследования является определение оптимального периода контроля вычислений в сложных комплексах программного обеспечения автоматизированных систем управления. Для достижения поставленной цели необходимо решить такие задачи, как анализ систем периодического контроля, который состоит в определении затрат производительности соответствующих вычислительных систем, а также обеспечении минимума этих затрат. Приводятся теоретические основы и описание процесса оценки

эффективности функционирования автоматизированных систем управления. Дано обоснование способа определения оптимального периода контроля вычислений в комплексах программ автоматизированных систем управления. Проведено аналитическое исследование систем контроля. Отличие рассмотренной постановки задач от существующих заключается в учете неполной достоверности обнаружения ошибок системой периодического контроля, при этом принимается во внимание, что для реальных систем управления вероятность обнаружения ошибки достаточно велика. Результаты исследования систем оперативного периодического контроля подтверждают, что основным параметром, оказывающим влияние на оптимальный период контроля, является среднее время наработки на отказ. Показана зависимость оптимального периода контроля от вероятности восстановления при разных значениях длительности этого процесса достоверным методом. Отмечается, что с уменьшением вероятности оптимальный период контроля также убывает, что связано с необходимостью расходования большей доли времени на восстановление достоверным методом; соответствующее возрастание средних удельных затрат можно компенсировать увеличением частоты проведения процедур контроля, т. е. уменьшением периода контроля. Приведена зависимость минимальных средних удельных затрат на контроль и оптимального периода его проведения от среднего времени между появлением ошибок. При постоянной длительности процедур контроля и восстановления и постоянной вероятности обнаружения ошибки оптимальный период контроля убывает, а минимум средних удельных затрат несколько возрастает с уменьшением среднего времени между сбоями. Сделан вывод о том, что во избежание появления ошибки необходимо осуществлять контроль в целях уменьшения потерь, вызванных работой по ее устранению.

Ключевые слова: автоматизированная система, управление, эффективность, функционирование, оптимальный период, контроль вычислений, затраты, программное обеспечение, ошибки.

Для цитирования:

Голоскоков К. П. Определение оптимального периода контроля вычислений в комплексах программ автоматизированных систем управления / К. П. Голоскоков, В. В. Коротков, А. А. Астапкович // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 5. — С. 885–892. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-5-885-892.

Введение (Introduction)

Необходимость в средствах оперативного контроля вычислений обусловлена тем, что в сложных комплексах программ управления всегда существует определенное количество невыявленных ошибок, которые могут приводить к различным вариантам нарушения работы системы управления: от незначительного искажения результатов до полного прекращения работы системы. Требование высокой достоверности и непрерывности выработки управляющих воздействий, недопустимость перерывов в работе и искажения в выдаче управляющих сообщений приводят к необходимости соответствующих средств защиты. Главным образом следует предусматривать меры защиты от ошибок, наиболее сильно искажающих конечные результаты. Необходимо оперативно обнаруживать последствия таких ошибок и принимать меры по их ликвидации. При этом важно учитывать длительность проявления ошибки и корректировать ход вычислительного процесса в целях устранения последствий ошибок [1]–[4].

Основная задача средств оперативной защиты от ошибок состоит в обеспечении непрерывности процесса управления. Одновременно система оперативного контроля может выполнять функции защиты от случайных сбоев и отказов в аппаратуре вычислительной системы. Следует также предусмотреть меры регистрации и индикации ошибок для последующего их анализа.

Для обеспечения защиты вычислительного процесса могут быть использованы различные виды избыточности [5]–[8]:

- *временная избыточность*, когда часть производительности вычислительной системы служит для контроля исполнения программ и восстановления вычислительного процесса (ресурсы производительности проектирования должны быть предусмотрены на этапе комплекса программ);
- *информационная избыточность*, предполагающая дублирование исходных и промежуточных данных для повышения их достоверности, а также обеспечивающая их восстановление при искажении;
- *программная избыточность* — заключается в применении в комплексах программ нескольких вариантов, различающихся методами решения задачи или программной реализации одного

и того же метода; при этом появляется возможность сопоставления результатов обработки и исключения искажений.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Средства оперативного контроля и защиты от ошибок, построенные на основе временной избыточности, обуславливают необходимость решения оптимизационной задачи. В работе проанализировано решение задачи анализа системы периодического контроля, которая сводится к оценке затрат на контроль производительности сложных вычислительных комплексов автоматизированных систем управления с учетом достоверности контроля, а также к определению оптимального периода проведения процедур контроля, обеспечивающего минимум этих затрат [9]–[11].

Любая функционирующая система управления характеризуется средним временем наработки на сбой или отказ L . Интенсивность сбоев $\lambda = 1/L$ не зависит от системы и методов контроля, выступая в качестве определяющей величины при выборе ее структуры. От момента появления ошибки до момента выполнения процедуры контроля для обнаружения ошибки проходит некоторое время, продолжительность которого оказывает влияние на эффективности работы вычислительного комплекса автоматизированной системы управления. Необнаружение ошибки в системе управления в течение времени t_2 характеризуется потерями b_2 за единицу времени пребывания в этом состоянии.

Система контроля характеризуется некоторой совокупностью параметров, позволяющих оценить ее эффективность. Каждая процедура контроля требует затрат на ее проведение, к которым относятся: t_1 — средняя длительность одной процедуры; b_1 — затраты в единицу времени на осуществление одной процедуры; x — среднее время между проверками. Система контроля характеризуется вероятностью обнаружения ошибки P_o , значение которой на практике всегда меньше единицы, а также вероятностью ложного обнаружения ошибки $P_{\text{л}}$.

Затраты на восстановление определяются следующими параметрами: $P_{\text{в}}$ — вероятность восстановления работоспособности системы при выбранном методе восстановления; b_3 — затрата в единицу времени на восстановление при данном способе восстановления; t_3 — время функционирования алгоритма восстановления. Методы восстановления [12]–[15] различаются затратами на их реализацию и влиянием на длительность оперативного контроля и восстановления. Наиболее достоверные методы требуют максимальных затрат ресурсов вычислительных комплексов автоматизированных систем управления. В связи с этим на практике экономичные методы сочетают с более достоверными по мере появления необходимости в этом. Критерием оценки эффективности системы контроля являются средние удельные затраты S^1 на оперативный контроль и восстановление.

Результаты (Results)

Аналитическое исследование систем контроля выполняется при соблюдении следующих условий:

- поток ошибок описывается стационарным пуассоновским потоком;
- контроль осуществляется периодически с интервалом x ;
- интенсивность потока ошибок намного меньше интенсивного потока проверок;
- вероятность ложного обнаружения ошибки равна нулю, а процедура восстановления экономичным способом заканчивается успешно при соблюдении следующих условий: $P_{\text{л}} = 0$; $P_{\text{в}} = 1$.

Отличие рассматриваемой постановки задачи от приведенной в работе [16] состоит в учете неполной достоверности обнаружения ошибки системой периодического контроля $P_o < 1$. При этом принимается во внимание, что для реальных систем управления вероятность обнаружения ошибки достаточно невелика $P_o > 0,5$. Поскольку интенсивность сбоев намного меньше интенсивности проверок, вероятностью поступления очередного сбоя раньше, чем завершится восстановление после предыдущего сбоя, можно пренебречь. Это позволяет рассматривать средние удельные

¹ Под затратами понимается время, необходимое на обнаружение, локализацию и устранение последствий ошибок, а также потери запаздывания в обнаружении.

потери как отношение средних потерь за один цикл между поступлением сбоев к длительности этого цикла.

Пусть ошибка возникла после k -й проверки в момент времени t . Интервал между сбоями является случайной величиной с функцией распределения $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$. Тогда затраты на контроль составляют $(k + 1)$. Потери из-за работы с ошибкой можно описать следующим выражением:

$$b_2[(k+1)x-t]P_0 + b_2[(k+2)x-t](1-P_0)P_0 + b_2[(k+3)x-t](1-P_0)^2P_0 + \\ + b_2[(k+4)x-t](1-P_0)^3P_0 + \dots$$

Остальные члены, умноженные на $(1 - P_0)^n$, где $n > 3$, можно опустить, так как в реальных системах P_0 достаточно велико. Затраты на восстановление вычислительного процесса после обнаружения ошибки составляют b_3t_3 . Средние потери за все время функционирования можно представить следующим образом:

$$E = \sum_{k=0}^{\infty} \int_{kx}^{(k+1)x} \{b_1t_1(k+1) + b_2[(k+1)x-t]P_0 + \\ + b_2[(k+2)x-t](1-P_0)P_0 + b_2[(k+3)x-t](1-P_0)^2P_0 + \\ + b_2[(k+4)x-t](1-P_0)^3P_0\} dF(t) + b_3t_3. \quad (1)$$

Проинтегрировав и получив сумму ряда, можно найти следующее выражение для средних потерь:

$$E = \frac{t_1b_1}{1 - e^{-\lambda x}} + b_2P_0(4 - 6P_0 + 4P_0^2 - P_0^3)\left(\frac{x}{1 - e^{-\lambda x}} - \frac{1}{\lambda}\right) + \\ + b_2P_0x(6 - 14P_0 + 11P_0^2 - 3P_0^3)b_3t_3.$$

Средняя длительность цикла, заканчивающегося восстановлением, определяется средним временем наработки на отказ $L = 1/\lambda$, временем пребывания в состоянии необнаруженного сбоя и временем восстановления t_b :

$$T_1 = \frac{1}{\lambda} + \sum_{k=0}^{\infty} \int_{kx}^{(k+1)x} \{[(k+1)x-t]P_0 + [(k+2)x-t](1-P_0)P_0 + \\ + [(k+3)x-t](1-P_0)^2P_0 + [(k+4)x-t](1-P_0)^3P_0\} dF(t) + t_1 + t_2$$

Выполнив интегрирование и суммирование, получим следующее выражение:

$$T_1 = P_0\left(\frac{x}{1 - e^{-\lambda x}} - \frac{1}{\lambda}\right)(4 - 6P_0 + 4P_0^2 - 4P_0^3) + \\ + P_0x(6 - 14P_0 + 11P_0^2 - 3P_0^3) + \frac{1}{\lambda} + t_1 + t_3. \quad (2)$$

Средние удельные потери, в соответствии с определением, равны отношению средних потерь E за один цикл, заканчивающийся восстановлением, к длительности цикла T_1 :

$$S = E / T_1. \quad (3)$$

При неполной достоверности обнаружения ошибки системой периодического контроля средние удельные потери (3) должны рассчитываться с учетом средних потерь в течение всего времени функционирования (1) и средней длительности цикла, заканчивающегося восстановлением (2).

Анализ полной системы периодического контроля с учетом достоверности контроля $P_0 \neq 0$ и надежности восстановления $P_b \neq 1$ выполнен методом статистического моделирования [17], поскольку аналитические способы приводят к достаточно громоздким выражениям, малоприменимым для практического использования. Результаты, полученные при моделировании системы контроля с соблюдением условий $P_0 = 0$ и $P_b = 1$, практически совпадают с данными, полученными из приведенных ранее аналитических выражений.

Вероятность обнаружения ошибки с выполнением процедуры контроля и вероятность восстановления работоспособности экономичным методом должны быть достаточно велики, а вероятность ложного обнаружения ошибки процедурой контроля очень мала. В связи с этим рассматриваются системы контроля с вероятностью обнаружения ошибки больше 0,5, вероятностью восстановления экономичным методом больше 0,4 и вероятностью ложного обнаружения ошибки меньше 0,05. Длительность процедуры контроля изменяется в диапазоне 0,1–10 с, длительность процедур восстановления экономичным t_3 и достоверным t_d методами продолжительностью, соответственно, 6–600 с и 60–3600 с. С учетом указанных диапазонов на рис. 1–3 приняты следующие значения параметров:

- вероятность обнаружения $P_0 = 0,8$;
- вероятность восстановления $P_v = 1,0$ (кроме рис. 2); вероятность ложного обнаружения $P_d = 0$;
- длительность процедуры контроля $t_1 = 6$ с;
- длительность экономического восстановления $t_3 = 60$ с.

Среднее время L между возникновением ошибок изменяется от 1 ч до 100 ч.

На рис. 1 приведена зависимость средних удельных затрат S от периода контроля X при разных периодах возникновения ошибок. Кривые имеют экстремальный характер, причем минимум функции потерь соответствует оптимальному периоду проведения процедур контроля. Минимальное значение средних удельных потерь с ростом среднего времени между ошибками имеет тенденцию к уменьшению.

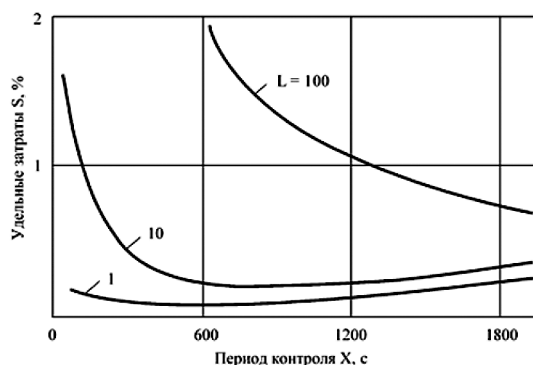


Рис. 1. Зависимость удельных затрат от периода контроля [6]

На рис. 2 показана зависимость оптимального периода контроля X от вероятности восстановления P_v при разных значениях длительности восстановления достоверным методом t_d . С уменьшением вероятности P_v оптимальный период контроля также убывает, что связано с необходимостью большую долю времени тратить на восстановление достоверным методом; соответствующее возрастание средних удельных затрат можно компенсировать увеличением частоты проведения процедур контроля, т. е. уменьшением периода контроля.

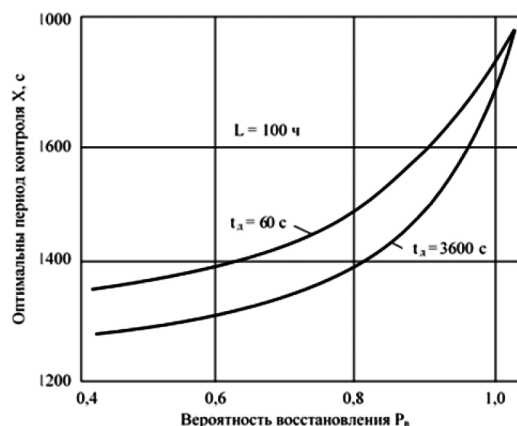


Рис. 2. Зависимость оптимального периода контроля от вероятности восстановления [6]

На рис. 3 приведена зависимость минимальных средних удельных затрат S на контроль и оптимального периода его проведения X от среднего времени L между появлением ошибок. Как видно из рассмотрения кривых, при постоянной длительности процедур контроля и восстановления и постоянной вероятности P_0 обнаружения ошибки оптимальный период контроля убывает, а минимум средних удельных затрат несколько возрастает с уменьшением среднего времени L между сбоями. Это можно объяснить следующим: чем чаще вероятность появления ошибки, тем чаще нужно осуществлять контроль в целях уменьшения потерь, вызванных работой по устранению ошибки. С ростом длительности процедуры контроля оптимальный период контроля увеличивается, поскольку в противном случае возрастут средние удельные затраты на его проведение.

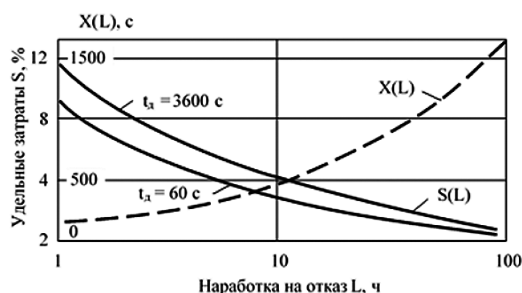


Рис. 3. Зависимость удельных затрат S и оптимального периода контроля $X(L)$ от времени наработки на отказ [6]

Таким образом, для определения оптимального периода контроля вычислений в сложных комплексах программного обеспечения автоматизированных систем управления требуется определить затраты производительности вычислительных систем на контроль, а также обеспечить их минимум. При этом расчет затрат необходимо производить с учетом неполной достоверности обнаружения ошибки системой оперативного периодического контроля.

Выводы (Summary)

На основе выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Результаты исследования систем оперативного периодического контроля показывают, что основным параметром, влияющим на оптимальный период контроля X , является среднее время L наработки на отказ.
2. Такие параметры, как длительность восстановления экономичным $t_э$ и достоверным $t_д$ методами, вероятность обнаружения ошибки процедурой контроля $P_о$, вероятность восстановления экономичным методом $P_в$, вероятность ложного обнаружения ошибки $P_л$, в рассмотренных диапазонах их изменения оказывают не столь существенное влияние на оптимальный период контроля. При этом оптимальный период контроля при среднем времени между ошибками от 1 до 100 ч должен быть на 2–2,5 порядка меньше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильченко А. А. Автоматизированный подход к решению задачи определения района эксплуатации морского автономного надводного судна / А. А. Ильченко, Д. А. Акмайкин, А. В. Гамс // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 4. — С. 508–518. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-4-508-518.
2. Федоровская Н. К. Оценка эффективности систем охлаждения судовых энергетических установок с учетом экологического фактора / Н. К. Федоровская, К. Ю. Федоровский // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 4. — С. 559–568. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-4-559-568.
3. Кузнецов А. Л. Технологическая трансформация универсальных причалов в малые контейнерные терминалы / А. Л. Кузнецов, А. В. Галин, С. С. Валькова, А. М. Сампиев // Транспортное дело России. — 2022. — № 2. — С. 243–249. DOI: 10.52375/20728689_2022_2_243.

4. Царев Р. Ю. Модель анализа надежности распределенных вычислительных систем / Р. Ю. Царев, А. Н. Пупков, М. А. Огнерубова, М. В. Сержантова, Н. А. Бесчастная // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева. — 2013. — № 1 (47). — С. 86–91.
5. Павловская О. О. Статические методы оценки надежности программного обеспечения / О. О. Павловская // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. — 2009. — № 26 (159). — С. 35–37.
6. Гражданцев Е. В. Практическая реализация надежностного анализа архитектуры программной системы / Е. В. Гражданцев, М. А. Русаков, О. И. Завьялова, Р. Ю. Царев // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева. — 2008. — № 1 (18). — С. 37–40.
7. Царев Р. Ю. К проблеме оценки надежности сложных программных систем / Р. Ю. Царев, Е. Н. Штарик, А. В. Штарик // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. — 2015. — Т. 8. — № 1. — С. 33–47.
8. Кузнецов А. Л. Расчет вместимости склада навалочных грузов морского порта с помощью имитационного моделирования / А. Л. Кузнецов, А. В. Галин, С. С. Валькова, А. М. Сампиев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2022. — № 3. — С. 82–89. DOI: 10.24143/2073-1574-2022-3-82-89.
9. Галин А. В. Развитие сборных отправок грузов в ситуации роста стоимости контейнерных перевозок / А. В. Галин, А. Е. Слициан // Транспортное дело России. — 2022. — № 3. — С. 117–119.
10. Слициан А. Е. Особенности определения количества погруженного груза на судах типа река-море / А. Е. Слициан, А. В. Галин, Э. В. Виноградова // Транспортное дело России. — 2022. — № 4. — С. 124–126. DOI: 10.52375/20728689_2022_4_124.
11. Голоскоков К. П. Прогнозирование и оценка технического состояния сложных систем / К. П. Голоскоков // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. — 2008. — № 1 (53). — С. 164–168.
12. Брусакова И. А. Информационные технологии в научных исследованиях высшей школы / И. А. Брусакова, М. П. Власов, К. П. Голоскоков. — СПб., 2012. — 160 с.
13. Голоскоков К. П. Автоматизированная система испытаний в структуре системы управления качеством / К. П. Голоскоков // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. — 2008. — № 6 (69). — С. 116–120.
14. Кудинов Ю. И. Нечеткие модели и системы управления / Ю. И. Кудинов, А. Ю. Келина, И. Ю. Кудинов, А. Ф. Пащенко, Ф. Ф. Пащенко. — М.: Ленанд, 2017. — 328 с.
15. Нырков А. П. Обеспечение безопасности объектов информатизации транспортной отрасли / А. П. Нырков, А. А. Нырков, С. С. Соколов, А. А. Шнуренко; под ред. А. П. Ныркова. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. — 544 с.
16. Нырков А. П. Методика проектирования безопасных информационных систем на транспорте / А. П. Нырков, С. С. Соколов, А. В. Башмаков // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. — 2010. — № 3. — С. 58–61.
17. Люльченко А. Н. Модель системы обеспечения информационной безопасности на транспорте / А. Н. Люльченко, А. П. Нырков, В. Г. Швед // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 5 (33). — С. 184–193. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-5-184-193.

REFERENCES

1. Ilchenko, Anna A., Denis A. Akmaykin, and Anastasia V. Gams. “Automated approach for solving the problem of determining the maritime autonomous surface ship operation area.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 14.4 (2022): 508–518. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-4-508-518.
2. Fedorovskaya, Nadezhda K., and Konstantin Yu. Fedorovskiy. “Estimating the efficiency of ship power plants cooling systems taking into account the environmental factor.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.4 (2021): 559–568. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-4-559-568.
3. Kuznetsov, A., A. Galin, S. Valkova, and A. Sampiev. “Technological transformation of universal berths into small container terminals.” *Transport business of Russia* 2 (2022): 243–249.
4. Tsarev, R. Yu., A. N. Pupkov, M. A. Ognerubova, M. V. Serzhantova, and N. A. Beschastnaya. “Model of analysis of distributed computing systems reliability.” *The Siberian Aerospace Journal* 1(47) (2013): 86–91.
5. Pavlovskaya, O.O. “Static methods of assessment of software.” *Bulletin of the South Ural State University. Series, Computer technologies, automatic control, radio electronics* 26(159) (2009): 35–37.

6. Grazhdantsev, E.V., M. A. Rusakov, O. I. Zavyalova, and R. Ju. Tsarev. "Practical realization of reliability analysis of software architecture." *The Siberian Aerospace Journal* 1(18) (2008): 37–40.
7. Tsarev, R. Yu., E. N. Shtarik, and A. V. Shtarik. "Toward the problem of estimation of the complex software system reliability." *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies* 8.1 (2015): 33–47.
8. Kuznetsov, Alexander Lvovich, Alexander Valentinovich Galin, Svetlana Sergeevna Valkova, and Adam Mihaylovich Sampiev. "Analysis of seaport bulk cargo warehouse capacity by using simulation modeling." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies* 3 (2022): 82–89. DOI: 10.24143/2073-1574-2022-3-82-89.
9. Galin, A., and A. Slican. "Development of LCL shipments in a situation of rising cost of container transportation." *Transport business of Russia* 3 (2022): 117–119. DOI: 10.52375/20728689_2022_3_117.
10. Slican, A., A. Galin, and E. Vinogradova. "Features of determining the amount of loaded cargo on river-sea vessels." *Transport business of Russia* 4 (2022): 124–126. DOI: 10.52375/20728689_2022_4_124.
11. Goloskokov, K.P. "Prognozirovanie i otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya slozhnykh system." *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta* 1(53) (2008): 164–168.
12. Brusakova, I.A., M. P. Vlasov, and K. P. Goloskokov. *Informatsionnye tekhnologii v nauchnykh issledovaniyakh vysshei shkoly*. SPb., 2012.
13. Goloskokov, K.P. "Avtomatizirovannaya sistema ispytaniy v strukture sistemy upravleniya kachestvom." *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie* 6(69) (2008): 116–120.
14. Kudinov, Yu.I., A. Yu. Kelina, I. Yu. Kudinov, A. F. Pashchenko, and F. F. Pashchenko. *Nechetkie modeli i sistemy upravleniya*. M.: Lenand, 2017.
15. Nyrkov, A.P., A. A. Nyrkov, S. S. Sokolov, and A. A. Shnurenko. *Obespechenie bezopasnosti ob"ektov informatizatsii transportnoi otrasli*. Edited by A. P. Nyrkov. SPb.: Izd-vo Politekh. un-ta, 2015.
16. Nyrkov, A.P., S. S. Sokolov, and A. V. Bashmakov. "Technique of designing safe information systems on transport." *Information Security Problems. Computer Systems* 3 (2010): 58–61.
17. Lyulchenko, Andrei Nikolaevich, Anatoliy Pavlovich Nyrkov, and Viktor Grigorievich Shved. "Model of the system providing information security on transport." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 5(33) (2015): 184–193.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Голоскоков Константин Петрович —

доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова
198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: goloskokovkp@gumrf.ru

Коротков Виталий Валерьевич — доцент

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова
198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: korotkovvv@gumrf.ru

Астапкович Алексей Александрович — аспирант *Научный руководитель:*

Голоскоков Константин Петрович
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова
198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: kaf_koib@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Goloskokov, Konstantin P. —

Dr. of Technical Sciences, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: goloskokovkp@gumrf.ru

Korotkov, Vitaliy V. — Associate professor Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: korotkovvv@gumrf.ru

Astapkovich, Aleksey A. — Postgraduate *Supervisor:*

Goloskokov, Konstantin P.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: kaf_koib@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 28 июля 2023 г.
Received: July 28, 2023.