

# УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ

DOI: 10.18137/RNU.V9I187.21.04.P.051

УДК 004.75

А.С. Васильев, А.В. Аверьянов, С.С. Зыкова

---

## ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА ПОСТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСА СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

---

Предложен способ повышения надежности функционирования комплекса средств автоматизации сложных технических систем. Способ заключается в выборе рациональной структуры комплекса средств автоматизации с учетом необходимого количества узлов резервирования. В качестве примера проведено сравнительное оценивание различных конфигураций комплекса средств автоматизации управления процессом подготовки и пуска ракет-носителей.

*Ключевые слова:* надежность, резервирование, вероятность безотказной работы, комплекс средств автоматизации.

A.S. Vasiliev, A.V. Averyanov, S.S. Zyкова

---

## CHOOSING A RATIONAL CONSTRUCTION OPTION COMPLEX AUTOMATION TOOLS FOR COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

---

A method of increasing the reliability of the complex of automation tools of a complex technical system is proposed. The method consists in choosing a rational structure of the automation complex, taking into account the required number of redundancy nodes. As an example, a comparative evaluation of various configurations of a complex of automation tools for controlling the process of preparation and launch of launch vehicles was carried out.

*Keywords:* reliability, reservation, probability of uptime, complex of automation tools.

### *Введение*

Комплексы средств автоматизации (далее – КСА), основную роль в которых играют специализированные вычислительные средства, выполняют задачи по управлению и обработке информации сложных технических систем (далее – СТС), функционирующих в режиме реального времени. В этих условиях необходимо обеспечить минимизацию вероятности возникновения отказа или сбоя в работе систем, готовность их выполнять задачи по целевому назначению при возникновении неисправности каких-либо компонентов, а также удобство их обслуживания (возможность проведения ремонтных и регламентных работ без прекращения функционирования или с минимизацией простоя).

### *Сущность подхода*

Одним из основных способов реализации этих требований является применение структурного резервирования [4], предусматривающее использование избыточных блоков [10] и узлов в структуре КСА. При этом элементы системы [18] соединены постоян-

**Васильев Алексей Сергеевич**

кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника кафедры. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург. Сфера научных интересов: информационно-вычислительные системы и технологии, надежность, живучесть. Автор более 30 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: alserwas@yandex.ru

**Аверьянов Алексей Васильевич**

кандидат технических наук, доцент, преподаватель Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург. Сфера научных интересов: информационно-вычислительные системы и технологии, надежность, живучесть. Автор более 30 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: aver957@mail.ru

**Зыкова Светлана Сергеевна**

адъюнкт. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург. Сфера научных интересов: информационно-вычислительные системы и технологии, надежность, живучесть. Автор 4 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: swetlanca.zykova@yandex.ru

но, перестройки структуры системы не производится, а резервные элементы участвуют в функционировании системы наравне с основными [11].

В целях выбора рационального варианта построения КСА проводится сравнительное оценивание надежности различных конфигураций КСА: без резервирования, двухканальным и трехканальным резервированием. В качестве показателя надежности выбрана вероятность безотказной работы (далее – ВБР) в течение заданного времени.

*Пример комплекса средств автоматизации управления*

В качестве примера рассмотрим комплекс средств автоматизации управления процессом подготовки и проведения пуска ракет-носителей. Рассматриваемый КСА сложной технической системы должен обладать требуемыми показателями надёжности, точности и быстродействия [15]. ВБР КСА за время рабочего цикла 168 часов определена не менее 0,995, а ВБР за время подготовки и пуска, равное 1,5 часа, – не менее 0,999. Указанные уровни надежности должны обеспечиваться при значениях ВБР, составляющих КСА модулей, представленных в Таблице 1.

В качестве основных элементов КСА рассматриваются:

- процессорный модуль;
- пульт оператора (далее – ПО);
- два устройства гарантированного питания (далее – УГП) ЭВМ;
- два устройства ввода-вывода (далее – УВВ);
- два шкафа кроссовых (далее – ШК);
- комплект кабелей (далее – КК).

Таблица 1

**Уровни надежности модулей**

Модуль	ВБР	
	P = 168 ч	P = 1,5 ч
ПО	0,9998	0,999998
УГП	0,99995	0,9999996
УВВ	0,998	0,99999
ШК	0,999996	1
КК	0,99955	0,99997

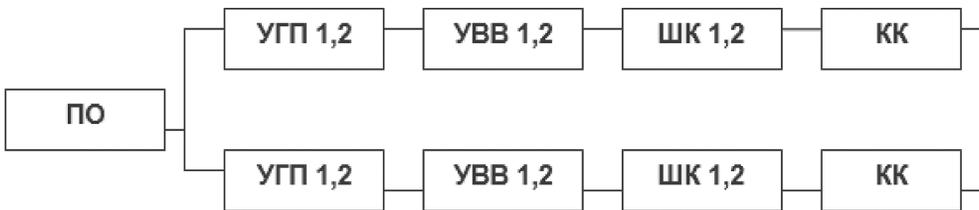
В таблице отсутствует процессорный модуль. Считается, что его ВБР в течение установленных временных интервалов равна единице.

Используя вышеизложенную информацию, необходимо проверить возможность обеспечения указанных значений ВБР КСА и сравнить надежность одноканальной, двухканальной и трехканальной ее реализаций [5].

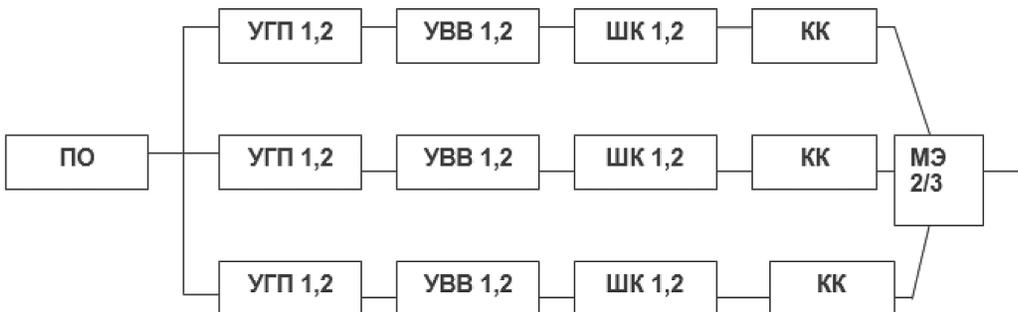
При составлении структурной схемы надежности (далее – ССН) КСА считаем [7], что все устройства и модули включены последовательно. ССН для одноканального, двухканального и трехканального КСА представлены на Рисунках 1, 2, 3 соответственно.



**Рисунок 1.** Структурной схемы надежности одноканального КСА



**Рисунок 2.** Структурной схемы надежности трехканального КСА



**Рисунок 3.** Структурной схемы надежности двухканального КСА

ВБР одноканальной КСА рассчитывается по формуле

$$P_{КСА}^{(1)} = P_{ПО} \cdot \prod P_{УГП}^2 \cdot \prod P_{УВВ}^2 \cdot \prod P_{ШК}^2 \cdot \prod P_{КК} = P_{ПО} \cdot \prod P_1. \quad (1)$$

Значения ВБР отдельных устройств и модулей, находящихся в правой части выражения (1), представлены в Таблице 1. В соответствии с формулой (1) для  $t = 168$  ч –  $P_{КСА}^{(1)} \approx 0,99525$ ; для  $t = 1,5$  ч –  $P_{КСА}^{(1)} \approx 0,999947$ .

ВБР двухканальной КСА рассчитывается по формуле

$$P_{КСА}^{(2)} = P_{ПО} \cdot \prod [1 - (1 - P_1)^2], \quad (2)$$

где  $P_1 = P_{УГП}^2 \times P_{УВВ}^2 \times P_{ШК}^2 \times P_{КК}$ .

В соответствии с формулой (2) для  $t = 168$  ч –  $P_{КСА}^{(2)} \approx 0,99978$ ; для  $t = 1,5$  ч –  $P_{КСА}^{(2)} \approx 0,999998$ .

В трехканальном КСА сигналы с выходов отдельных каналов поступают на мажоритарный элемент (далее – МЭ) (см. Рисунок 3), который является по своей сути избирательной схемой [6], на выходе которой появляется сигнал при совпадении сигналов от двух из трех резервных каналов. Выход из строя одного из трех каналов приводит к искажению выходного сигнала [17]. Использование мажоритарного способа резервирования позволяет достаточно просто обнаружить неисправный канал.

ВБР трехканальной КСА рассчитывается по формуле

$$P_{КСА}^{(3)} = P_{ПО} \cdot \prod P_{МЭ} \cdot \prod P_1^2 \cdot \prod (3 - 2P_1), \quad (3)$$

где  $P_{МЭ}$  – ВБР мажоритарного элемента.

Надежность трехканального КСА при одном отказавшем канале снижается до величины  $P_{ПО} \times P_1^2$ . В КСА процессом подготовки и пуска постоянно требуется поддерживать высокую надежность управления технологическим процессом [12], поэтому при отказе одного из каналов желательно повышать надежность системы в период восстановления до величины  $P_{КСА}^{(1)}$  а после восстановления отказавшего канала – до первоначальной величины [14].

Предположим, что ВБР мажоритарного элемента равна 1, тогда для

$$t = 168 \text{ ч} - P_{КСА}^{(3)} \approx 0,99974; \text{ для } t = 1,5 \text{ ч} - P_{КСА}^{(3)} \approx 0,999998.$$

Полученные значения ВБР позволяют провести сравнительное оценивание показателей безотказности [9] при различных реализациях КСА. Выигрыш в надежности для  $t_1 = 168$  ч и  $t_2 = 1,5$  ч определяется как отношения

$$B_2 = P_{КСА}^{(2)} : P_{КСА}^{(1)} \text{ и } B_3 = P_{КСА}^{(3)} / P_{КСА}^{(1)}. \quad (4)$$

Значения отношений  $B_2$  и  $B_3$  представлены в Таблице 2.

Таблица 2

Значения отношений  $B_2$  и  $B_3$

Время/Выигрыш	$B_2$	$B_3$
168 ч	1,00455	1,00451
1,5 ч	1,00005	1,00005

Вышеизложенные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Заданные состав, структура КСА, показатели безотказности отдельных устройств и модулей обеспечивают достижение требуемых значений ВБР за установленное время ра-

Выбор рационального варианта построения комплекса средств автоматизации ...

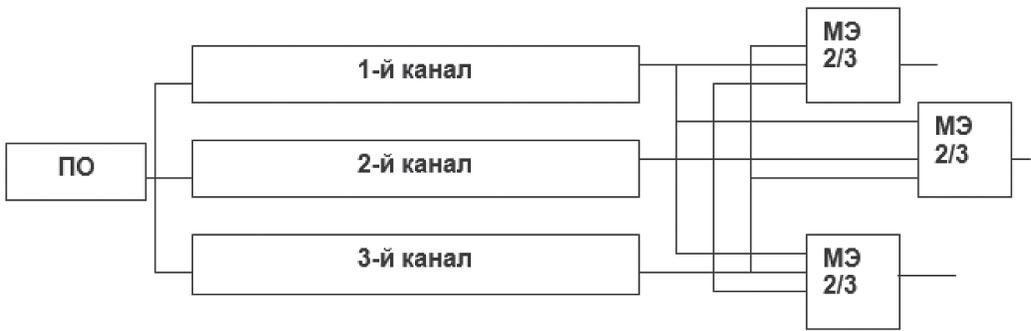
бочего цикла и за установленное время подготовки и пуска РН даже при одноканальном управлении технологическим процессом.

2. Выигрыш в надежности двухканального и трехканального КСА практически одинаковы, что обуславливает нецелесообразность чрезмерной аппаратной избыточности в структуре КСА, то есть использование третьего канала управления нецелесообразно.

3. Многоканальная реализация КСА функционирует более эффективно в смысле надежности в течение длительных интервалов времени.

Представленные выводы могут быть использованы на этапе проектирования сложных информационных управляющих систем при выборе рациональной структуры аппаратной части, определении разумных пределов избыточности аппаратных и программных средств.

Следует отметить, что недостатком рассмотренного трехканального КСА (см. Рисунок 3) являются высокие требования, предъявляемые к надежности мажоритарного элемента. Напомним, что ВБР мажоритарного элемента равнялась единице. Эти требования можно значительно снизить, если в систему включить три мажоритарных элемента так, как показано на Рисунке 4.



**Рисунок 4.** Система с тремя мажоритарными элементами

В этом случае ВБР системы можно определить из следующего выражения:

$$P_{КСА}^{(3 МЭ)} = P_{ПО} \cdot \left( 3P_1^2 - 2P_1^3 \right) \cdot \left[ 1 - (1 - P_{МЭ})^3 \right]. \tag{5}$$

Пусть

$$P_{МЭ}(1,5 \text{ ч}) = 0,9999, P_{МЭ}(168 \text{ ч}) = 0,999,$$

тогда

$$\text{для } t = 168 \text{ ч} - P_{КСА}^{(3)} \approx 0,99874, P_{КСА}^{(3 МЭ)} \approx 0,99974;$$

$$\text{для } t = 1,5 \text{ ч} - P_{КСА}^{(3)} \approx 0,999898, P_{КСА}^{(3 МЭ)} \approx 0,999998.$$

Выигрыш в надежности системы, представленной на Рисунке 4, по сравнению с одноканальной системой (см. Рисунок 1) рассчитывается по формуле

$$B_3^{МЭ} = P_{КСА}^{(3 МЭ)} / P_{КСА}^{(1)}. \tag{6}$$

Значения выигрышей  $B_2, B_3, B_3^{МЭ}$ , рассчитанных по формулам (4)–(6), для  $P_{МЭ}(1,5 \text{ ч}) = 0,9999$  и для  $P_{МЭ}(168 \text{ ч}) = 0,999$ , представлены в Таблице 3.

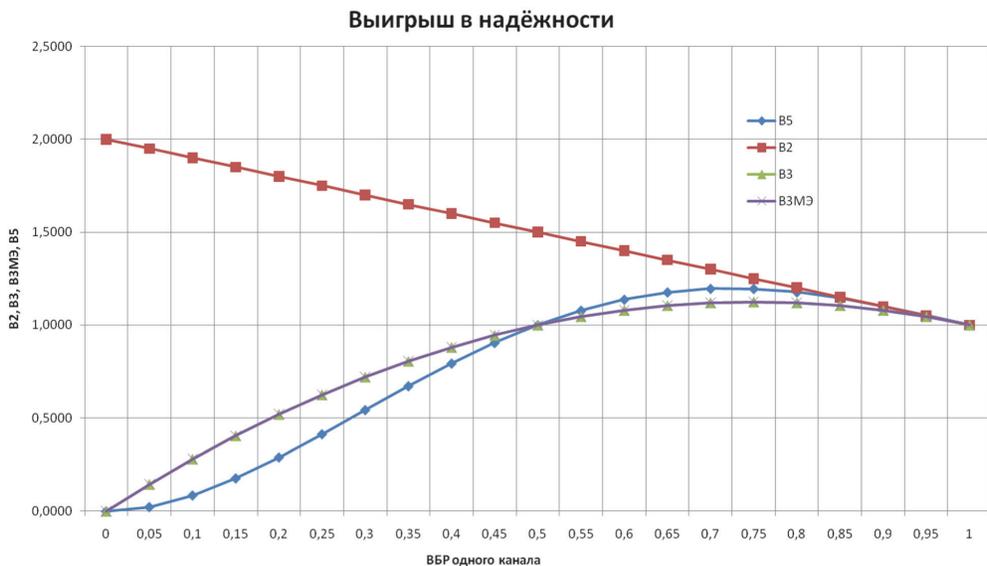
Таблица 3

Значения выигрышей  $V_2, V_3, V_3^{MЭ}$ 

Время / Выигрыш	$V_2$	$V_3$	$V_3^{MЭ}$
168 ч	1,00455	1,0034	1,00451
1,5 ч	1,00005	0,99995	1,00005

Из полученных результатов следует, что трехканальный КСА с единственным мажоритарным элементом, имеющим ВБР меньше единицы, менее надежен, чем двухканальный КСА, а на малых интервалах времени функционирования уступает в надежности даже одноканальной системе. Использование в структуре трех мажоритарных элементов позволяет достичь уровня надежности двухканального КСА, что подтверждает нецелесообразность чрезмерной многоканальной реализации КСА [1; 16].

На Рисунке 5 представлены графики изменения выигрыша в надежности многоканальной системы в зависимости от ВБР одного канала.



**Рисунок 5.** Графики изменения выигрыша в надежности многоканальной системы:  $B_2$  – выигрыш в надежности двухканальной системы;  $B_3$  – выигрыш в надежности трехканальной системы с одним мажоритарным элементом, ВБР которого равна единице;  $B_3^{MЭ}$  – выигрыш в надежности трехканальной системы с тремя мажоритарными элементами, ВБР которых равна 0,99;  $B_5$  – выигрыш в надежности пятиканальной системы с одним мажоритарным элементом, ВБР которого равна единице

Из представленных диаграмм видно, что максимальные выигрыши в надежности пятиканальной и трехканальных систем достигается при ВБР одного канала  $P_1 = 0,75$  и равны, соответственно,  $B_5 = 1,1953$ ,  $B_3 = 1,1250$ ,  $B_3^{MЭ} = 1,1249$ , что меньше выигрыша в надежности двухканальной системы, равного  $B_2 = 1,2500$ . Очевидно, что ВБР  $P_1 = 0,75$  – недопустимо низкий уровень надежности одного канала, и строить на таких каналах многоканальные КСА нельзя [2].

При  $P_1 > 0,9$  значения выигрышей в надежности многоканальных систем становятся практически одинаковыми. Например, для  $P_1 = 0,95$  получаем  $B5 = 1,0514$ ,  $B3 = 1,0450$ ,  $B3MЭ = 1,0449$ ,  $B2 = 1,0500$ .

#### Заключение

Из полученных результатов следует, что трехканальные системы, представленные на Рисунках 3 и 4, уступают в надежности двухканальной системе за счет использования в схеме резервирования дополнительного мажоритарного элемента. Таким образом, типовые структуры КСА, обладающие аппаратной и программной избыточностью, нерациональны в смысле многоканальной реализации.

При решении проблемы надежности функционирования таких систем необходимо прежде всего повышать безотказность работы одного канала управления, а не идти по наиболее легкому пути увеличения количества каналов, не соответствующих заданным в технических требованиях уровням надежности.

Достаточность простого дублирования или двухканальной реализации для обеспечения надежного функционирования автоматизированных систем подтверждается строением (морфологией) живых организмов, а именно: симметрией внутренних органов, наличием парных органов, обеспечивающих важнейшие функции организма, – зрение, слух, дыхание и др. [3].

#### Литература

1. Аверьянов А.В. Оценивание надежности автоматизированных систем управления подготовкой и проведением пуска космических аппаратов // Известия вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 4. С. 62–65.
2. Аверьянов А.В., Барановский А.М., Эсаулов К.А. Определение пределов аппаратной избыточности информационных управляющих систем // Известия вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 3. С. 23–26.
3. Аверьянов А.В., Кузнецов В.В., Калюжный А.В. Оценивание надежности функционирования многоканальной системы на примере ботового комплекса управления малого космического аппарата // Известия вузов. Приборостроение. 2020. Т. 63, № 10. С. 880–887.
4. Бабошин В.А., Нечай А.А., Вылегжанин А.Н. Цифровая трансформация телекоммуникационных систем железнодорожной отрасли // Специальная техника и технологии транспорта: сборник научных статей. СПб.: Петергоф, 2021. С. 180–188.
5. Баглюк С.И., Нечай А.А. К вопросу о выборе исходных данных при автоматизации тестирования программ // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2020. № 4. С. 103–107.
6. Борисов А.А., Краснов С.А., Нечай А.А. Технология блокчейн и проблемы ее применения в различных информационных системах // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2018. № 2. С. 63–67.
7. Гладышев А.И., Зимовец А.И., Нечай А.А., Обухов А.В. Применение Big Data для анализа околоземного космического пространства // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2020. № 4. С. 127–134.
8. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1986. 480 с.

9. Котиков П.Е., Нечай А.А. Репликация данных между серверами баз данных в среде геоинформационных систем // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2015. № 1. С. 88–91.
10. Мысливец Е.Г., Пучкова И.А., Нечай А.А., Антонов Д.А. Синтез модели автоматизированной информационной системы радиоэлектронного мониторинга объектов наблюдения на основе логико-алгебраического подхода // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2020. № 4. С. 135–142.
11. Нечай А.А. Формирование безопасной информационной среды // Актуальные проблемы современности: наука и общество. 2019. № 4 (25). С. 43–44.
12. Нечай А.А., Котиков П.Е. Методика повышения надежности функционирования систем, организованных на перепрограммируемых элементах // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2016. № 1-2. С. 87–89.
13. Новиков А.Н., Нечай А.А., Малахов А.В. Математическая модель обоснования вариантов реконфигурации распределенной автоматизированной контрольно-измерительной системы // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2016. № 1-2. С. 56–59.
14. Пакулов Н.И., Уханов В.Ф., Чернышов П.Н. Мажоритарный принцип построения надежных узлов и устройств ЦВМ. М.: Советское радио, 1974. 184 с.
15. Полянский В.И., Аверьянов А.В., Данилов А.И. Автоматизированные системы управления подготовкой и пуском ракет космического назначения. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 1997. 332 с.
16. Широбоков В.В., Нечай А.А. Алгоритм планирования энергосберегающей параллельной обработки информации с учетом информационной важности и времени поступления задач // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2017. № 1. С. 88–93.
17. Эсаулов К.А., Яхваров Е.К., Нечай А.А., Березин А.С. Методика интеграции системы управления киберрисками в предпринимательских структурах // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2020. № 2. С. 80–86.

## References

1. Aver'yanov A.V. (2009) *Otsenivanie nadezhnosti avtomatizirovannykh sistem upravleniya podgotovkoy i provedeniiem puskа kosmicheskikh apparatov* [Assessment of the reliability of automated control systems for the preparation and launch of spacecraft]. *Izvestiya vuzov, Priborostroenie*, vol. 52, no. 4, pp. 62–65 (in Russian).
2. Aver'yanov A.V., Baranovskiy A.M., Esaulov K.A. (2014) *Opreделение predelov apparatnoy izbytochnosti informatsionnykh upravlyayushchikh sistem* [Determination of the limits of hardware redundancy of information control systems]. *Izvestiya vuzov, Priborostroenie*, vol. 57, no. 3, pp. 23–26 (in Russian).
3. Aver'yanov A.V., Kuznetsov V.V., Kalyuzhnyy A.V. (2020) *Otsenivanie nadezhnosti funktsionirovaniya mnogokanal'noy sistemy na primere botovogo kompleksa upravleniya malogo*

*kosmicheskogo apparata* [Evaluation of the reliability of the functioning of a multi-channel system on the example of a small spacecraft control system]. *Izvestiya vuzov, Priborostroenie*, vol. 63, no. 10, pp. 880–887 (in Russian).

4. Baboshin V.A., Nechay A.A., Vylegzhanin A.N. (2021) *Tsifrovaya transformatsiya telekommunikatsionnykh sistem zheleznodorozhnoy otrasli* [Digital transformation of telecommunication systems of the railway industry]. *Spetsial'naya tekhnika i tekhnologii transporta: sbornik nauchnykh statey*. St. Petersburg, pp. 180–188 (in Russian).

5. Baglyuk S.I., Nechay A.A. (2020) *K voprosu o vybore iskhodnykh dannykh pri avtomatizatsii testirovaniya program* [To the question of the choice of source data in the automation of testing programs]. *Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie*, no. 4, pp. 103–107 (in Russian).

6. Borisov A.A., Krasnov S.A., Nechay A.A. (2018) *Tekhnologiya blokcheyn i problemy ee primeneniya v razlichnykh informatsionnykh sistemakh* [Blockchain technology and problems of its application in various information systems]. *Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie*, no. 2, pp. 63–67 (in Russian).

7. Gladyshev A.I., Zimovets A.I., Nechay A.A., Obukhov A.V. (2020) *Primenenie Big Data dlya analiza okolozemnogo kosmicheskogo prostranstva* [Application of Big Data for near-Earth space analysis]. *Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie*, no. 4, pp. 127–134 (in Russian).

8. Druzhinin G.V. (1986) *Nadezhnost' avtomatizirovannykh proizvodstvennykh sistem. 4-e izd., pererab. i dop.* [Reliability of automated production systems]. Moscow, Energoatomizdat Publishing, 480 p. (in Russian).

9. Kotikov P.E., Nechay A.A. (2015) *Replikatsiya dannykh mezhdu serverami baz dannykh v srede geoinformatsionnykh sistem* [Data replication between database servers in the environment of geoinformation systems]. *Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie*, no. 1, pp. 88–91 (in Russian).

10. Myslivets E.G., Puchkova I.A., Nechay A.A., Antonov D.A. (2020) *Sintez modeli avtomatizirovannoy informatsionnoy sistemy radioelektronnoy monitoringa ob"ektov nablyudeniya na osnove logiko-algebraicheskogo podkhoda* [Synthesis of a model of an automated information system for radio-electronic monitoring of surveillance objects based on a logical-algebraic approach]. *Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie*, no. 4, pp. 135–142 (in Russian).

11. Nechay A.A. (2019) *Formirovanie bezopasnoy informatsionnoy sredy* [Formation of a secure information environment]. *Aktual'nye problemy sovremennosti: nauka i obshchestvo*, no. 4 (25), pp. 43–44 (in Russian).

12. Nechay A.A., Kotikov P.E. (2016) *Metodika povysheniya nadezhnosti funktsionirovaniya sistem, organizovannykh na pereprogrammiruemykh elementakh* [Methodology for improving the reliability of functioning of systems organized on reprogrammable elements]. *Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie*, no. 1-2, pp. 87–89 (in Russian).

13. Novikov A.N., Nechay A.A., Malakhov A.V. (2016) *Matematicheskaya model' obosnovaniya variantov rekonfiguratsii raspredelennoy avtomatizirovannoy kontrol'no-izmeritel'noy sistemy* [Mathematical model of substantiation of reconfiguration options for a distributed automated control and measuring system]. *Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie*, no. 1-2, pp. 56–59 (in Russian).
14. Pakulov N.I., Ukhanov V.F., Chernyshov P.N. (1974) *Mazhoritarnyy printsip postroeniya nadezhnykh uzlov i ustroystv TsVM* [The majoritarian principle of construction of reliable nodes and devices tsvm]. Moscow, Sovetskoe radio Publishing, 184 p. (in Russian).
15. Polyanskiy V.I., Aver'yanov A.V., Danilov A.I. (1997) *Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya podgotovkoy i puskom raket kosmicheskogo naznacheniya* [Automated control system for the preparation and launch of a space rocket]. St. Petersburg, VKA imeni A.F. Mozhayskogo, 332 p. (in Russian).
16. Shirobokov V.V., Nechay A.A. (2017) *Algoritm planirovaniya energosberegayushchey parallel'noy obrabotki informatsii s uchetom informatsionnoy vazhnosti i vremeni postupleniya zadach* [Algorithm for planning energy-saving parallel processing of information, taking into account the information importance and time of receipt of tasks]. *Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie*, no. 1, pp. 88–93 (in Russian).
17. Esaulov K.A., Yakhvarov E.K., Nechay A.A., Berezin A.S. (2020) *Metodika integratsii sistemy upravleniya kiberriskami v predprinimatel'skikh strukturakh* [Methods for integrating a cyber risk management system in business structures]. *Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie*, no. 2, pp. 80–86 (in Russian).