

Как видно из рисунка, полученные результаты хорошо согласуются между собой. Максимальная относительная погрешность прогноза продолжительности охлаждения по формуле (5) составляет 5 %.

На основе рассмотренной математической модели разработан алгоритм, позволяющий оценивать продолжительность охлаждения слябов на линии «МНЛЗ – холодный склад». Алгоритмы реализованы на языке Delphi в среде разработки Delphi 7. Алгоритм определения продолжительности охлаждения включает следующие шаги:

1. Определение с помощью проектно-конструкторской документации следующих параметров: половины ширины A штабеля, половины длины l штабеля, высоты H штабеля, расстояния a между штабелями. Диапазоны изменения значений перечисленных параметров в соответствии с технологической инструкцией приняты следующими:

- половина ширины A штабеля: 0,6–1,0 м;
- половина длины l штабеля: 2,0–6,0 м;

- высота H штабеля: 2,0–4, м;
- расстояние a между штабелями: 1,0–2,0 м.

2. Расчет продолжительности охлаждения штабеля слябов в зависимости от его геометрических размеров и от расстояния до соседнего штабеля.

Выводы.

Разработанный алгоритм позволяет достаточно точно определить момент начала обработки штабеля на стеллажах с целью контроля качества и может быть использован для оценки продолжительности охлаждения штабелей из углеродистых сталей с целью совершенствования технологии обработки слябов на холодном складе.

Литература

1. Кабаков, З. К. Математическое охлаждение штабелей непрерывнолитых слябов на воздухе / [З. К. Кабаков и др.] // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2007. – №3. – С. 83–84.

УДК 681.324

*Е. В. Книга, И. О. Жаринов, В. А. Нечаев, А. В. Богданов
Санкт-Петербургское ОКБ «Электроавтоматика» им. П. А. Ефимова*

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР ИНТЕГРИРОВАННОЙ МОДУЛЬНОЙ АВИОНИКИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ

Рассматривается задача проектирования перспективных вычислительных систем в классе структур интегрированной модульной авионики. Предлагается унифицированная топология внутренней сети вычислителя на базе каналов обмена SpaceWire и варианты ее исполнения для различных бортовых приложений. Вводятся эквивалентные схемы надежности каждой из частных структур и анализируются вероятности безотказной работы каждой структуры. Приводятся семейства графических зависимостей.

Интегрированная модульная авионика, вычислительные системы, оценка показателей надежности, вероятность безотказной работы.

The problem of designing of advanced computing systems of integrated modular avionics is considered in the paper. A unified topology of internal network based on SpaceWire channels and options for its application for a variety of board applications are proposed. Equivalent reliability schemes of each special structure are introduced and the fail-safe performance probability of each structures are analyzed. The family plots are presented in the paper.

Integrated modular avionics, computational systems, evaluation of reliability indicators, fail-safe performance probability.

Введение. Авиационные вычислители класса ИМА (интегрированная модельная авионика) представляют собой [8], [11] мультипроцессорные многомодульные вычислительные системы, в состав которых входят следующие унифицированные функциональные модули (ФМ): модуль вычислительный (МВ), модуль графический (МГ), модуль ввода-вывода (МВВ), модуль массовой памяти (МПП). Напряжение питания на ФМ обеспечивает модуль напряжений.

На базе ФМ проектируются [9], [10]: бортовая цифровая вычислительная система (БЦВС), бортовая

графическая станция (БГС), бортовая интерфейсная станция (БИС), бортовая система картографической информации (БСКИ) и ряд других изделий авиационной промышленности, реализующих на борту летательного аппарата вычислительные функции.

Существенными для оценки надежности вычислителей класса ИМА являются внутренняя структура вычислителя [1]–[5], в качестве которой рассматривается схема связи ФМ в изделии, и λ -характеристики надежности элементной базы ФМ, входящей в изделие. При этом оценка надежности изделия производится путем аналитического вывода выраже-

ния для вероятности $P(t)$ безотказной работы изделия и построения семейства графиков зависимости этой вероятности на заданном временном интервале. Временной интервал характеризует ожидаемое время непрерывной работы изделия в эксплуатации.

Целью статьи является представление широкому кругу читателей результатов оценки надежности вычислительных структур ИМА для различных конфигураций аппаратных средств.

Основная часть.

Варианты внутренней структуры вычислителей ИМА. На рис. 1 представлена универсальная функциональная схема бортового вычислителя класса ИМА. Схема объединяет набор ФМ типа МВ, МГ, МВВ и ФМ типа МПП. Топология внутренней сети связи ФМ построена по принципу «каждый с каждым». Физической средой распространения информации являются проводные линии передачи данных в соответствии со спецификацией стандарта SpaceWire. Вычислитель построен по двухконтурному принципу и состоит из двух идентичных подсистем [9].

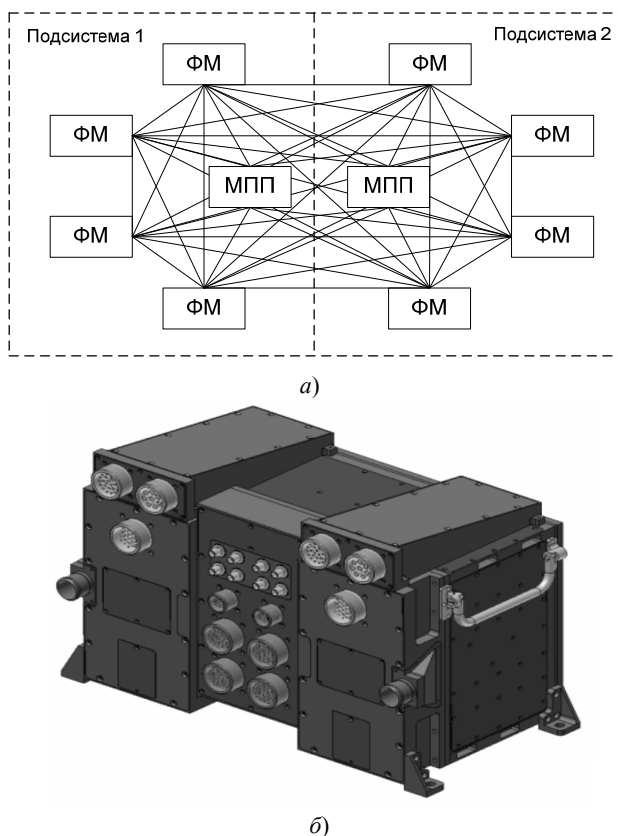


Рис. 1. Универсальная функциональная схема вычислителя класса ИМА (а) и внешний вид БЦВС (б)

На основе универсальной функциональной схемы вычислителя класса ИМА на практике разрабатываются различные варианты внутренних структур изделий авионики, реализуемых на логическом уровне [6], [7]. Необходимо отметить, что физическая среда распространения информации в изделии соответствует схеме связи рис. 1, а логическая среда распро-

странения информации организуется программными средствами. Таким образом, не каждая физическая линия передачи информации оказывается задействованной в логическом протоколе обмена.

На рис. 2 представлены наиболее распространенные варианты исполнения бортовой аппаратуры. На рис. 2а представлена схема внутренней связи ФМ в вычислительной системе, разделенной на две идентичных подсистемы, в каждой из которой задействовано по четыре ФМ и по одному МПП. В составе объекта (летательного аппарата) подсистемы резервируют друг друга. При отказе одного из ФМ в подсистеме вся подсистема считается неисправной, функции вычислителя исполняет резервная подсистема.

На рис. 2б представлена схема внутренней связи ФМ в БЦВС, состоящей из четырех ФМ различного типа. Каждый ФМ резервируется идентичным ФМ такого же типа. Общее число функциональных модулей в вычислительной системе соответствует варианту рис. 2а. Модули МПП резервируют друг друга. Распределение задач между подсистемами не осуществляется, каждый модуль подсистемы резервирует идентичный модуль другой подсистемы.

На рис. 2в представлена схема внутренней связи ФМ в вычислительной системе, состоящей из двух МПП и восьми идентичных ФМ, например, МВ. Вычислительная система используется в случае, когда для выполнения заданных функций авионики требуется вычислительный ресурс только четырех ФМ и одного МПП, вторая группа модулей в том же составе находится в резерве. Все ФМ, находящиеся в резерве, могут заменить любой из отказавших в полете ФМ, т. е. резервирование в вычислителе ИМА реализовано не на уровне подсистем, а на уровне ФМ.

На рис. 3 представлены эквивалентные схемы для каждой из схем, приведенных на рис. 2.

Оценка вероятности безотказной работы вычислителей ИМА. Пусть вероятность безотказной работы $P(t)$ одного ФМ определяется по формуле:

$$P_{\text{ФМ}}(t) = e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

где λ – интенсивность отказов элементной базы модуля, t – время полета летательного аппарата.

В варианте эквивалентной схемы надежности, представленной на рис. 3а, вероятность безотказной работы $P(t)$ вычислителя ИМА будет определяться по формуле:

$$P_1(t) = 1 - \left(1 - (P_{\text{МПП}}(t) \cdot P_{\text{ФМ}}^4(t))\right)^2, \quad (2)$$

где $P_{\text{МПП}}(t)$ – вероятность безотказной работы МПП, $P_{\text{ФМ}}(t)$ – вероятность безотказной работы ФМ.

В варианте эквивалентной схемы надежности, представленной на рис. 3б, вероятность безотказной работы $P(t)$ вычислителя ИМА будет определяться по формуле:

$$P_2(t) = \left[1 - (1 - P_{\text{МПП}}(t))^2\right] \times \\ \times \left[(1 - (1 - P_{\text{ФМ1}}(t))) (1 - (1 - P_{\text{ФМ2}}(t))) \times \right. \\ \left. \times (1 - (1 - P_{\text{ФМ3}}(t))) (1 - (1 - P_{\text{ФМ4}}(t))) \right], \quad (3)$$

где $P_{\text{ФМ}i}(t)$ – вероятность безотказной работы для i -го ФМ.

В варианте эквивалентной схемы надежности, представленной на рис. 3в, вероятность безотказной работы $P(t)$ вычислителя ИМА будет определяться по формуле:

$$P_3(t) = \left[1 - (1 - P_{\text{МПП}}(t))^2\right] \times \\ \times \left[\sum_{i=4}^8 \left[C_i^8 P_{\text{ФМ}}^i(t) \cdot (1 - P_{\text{ФМ}}(t))^{8-i} \right] \right]. \quad (4)$$

Если принять, что вероятности безотказной работы всех ФМ примерно одинакова, т. е. в состав каждого ФМ входит примерно одно и то же число радиоэлементов со сравнимыми показателями λ -характеристик, выражения (2)–(4) примут вид соответственно:

$$P_1(t) = 1 - (1 - P^5(t))^2, \quad (5)$$

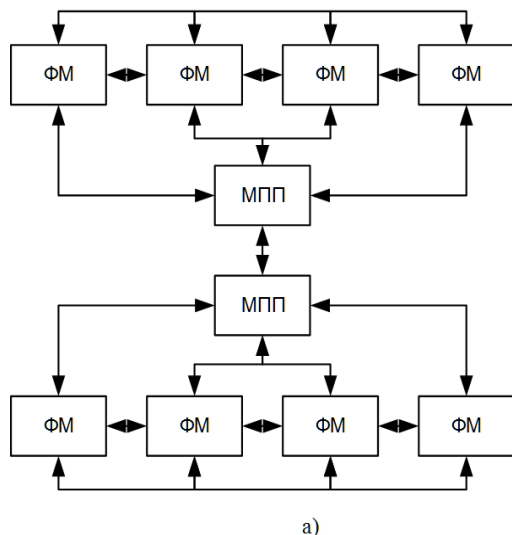


Рис. 2. Варианты исполнения бортовых вычислительных систем класса ИМА:

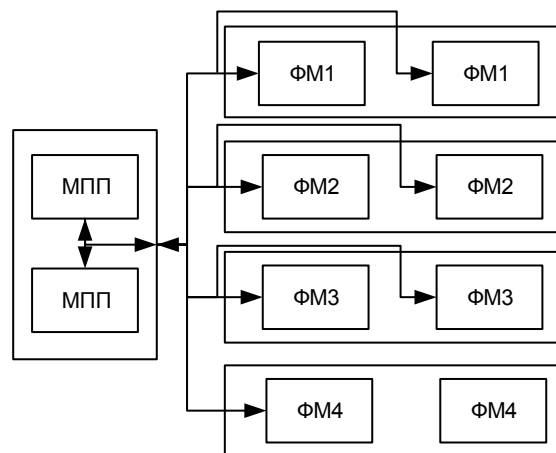
- а) резервирование на уровне подсистем,
- б) резервирование на уровне однотипных ФМ,
- в) скользящее резервирование на уровне идентичных ФМ

$$P_2(t) = \left[1 - (1 - P(t))^2\right] \cdot \prod_{i=1}^4 \left[1 - (1 - P(t))^2\right], \quad (6)$$

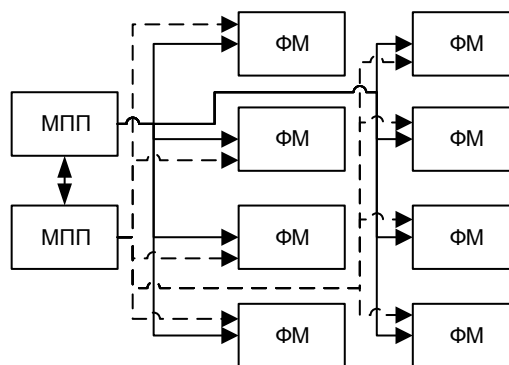
$$P_3(t) = \left[1 - (1 - P(t))^2\right] \cdot \left[\sum_{i=4}^8 \left[C_i^8 P^i(t) \cdot (1 - P(t))^{8-i} \right] \right]. \quad (7)$$

На рис. 4 представлены семейства зависимостей для различных вариантов применения схем резервирования в вычислителях ИМА. На рис. 4а представлена зависимость вероятности безотказной работы для варианта исполнения вычислительной системы на гражданском самолете. Для определенности расчетов время полета летательного аппарата принято равным 25 ч.

Сплошной линией на рис. 4 выполнена кривая, соответствующая вероятности безотказной работы для эквивалентной схемы надежности рис. 3а. Штрих-пунктирной линией на рис. 4 выполнена кривая, соответствующая вероятности безотказной работы для эквивалентной схемы надежности рис. 3б. Пунктирной линией на рис. 4 выполнена кривая, соответствующая вероятности безотказной работы для эквивалентной схемы надежности рис. 3в.



б)



в)

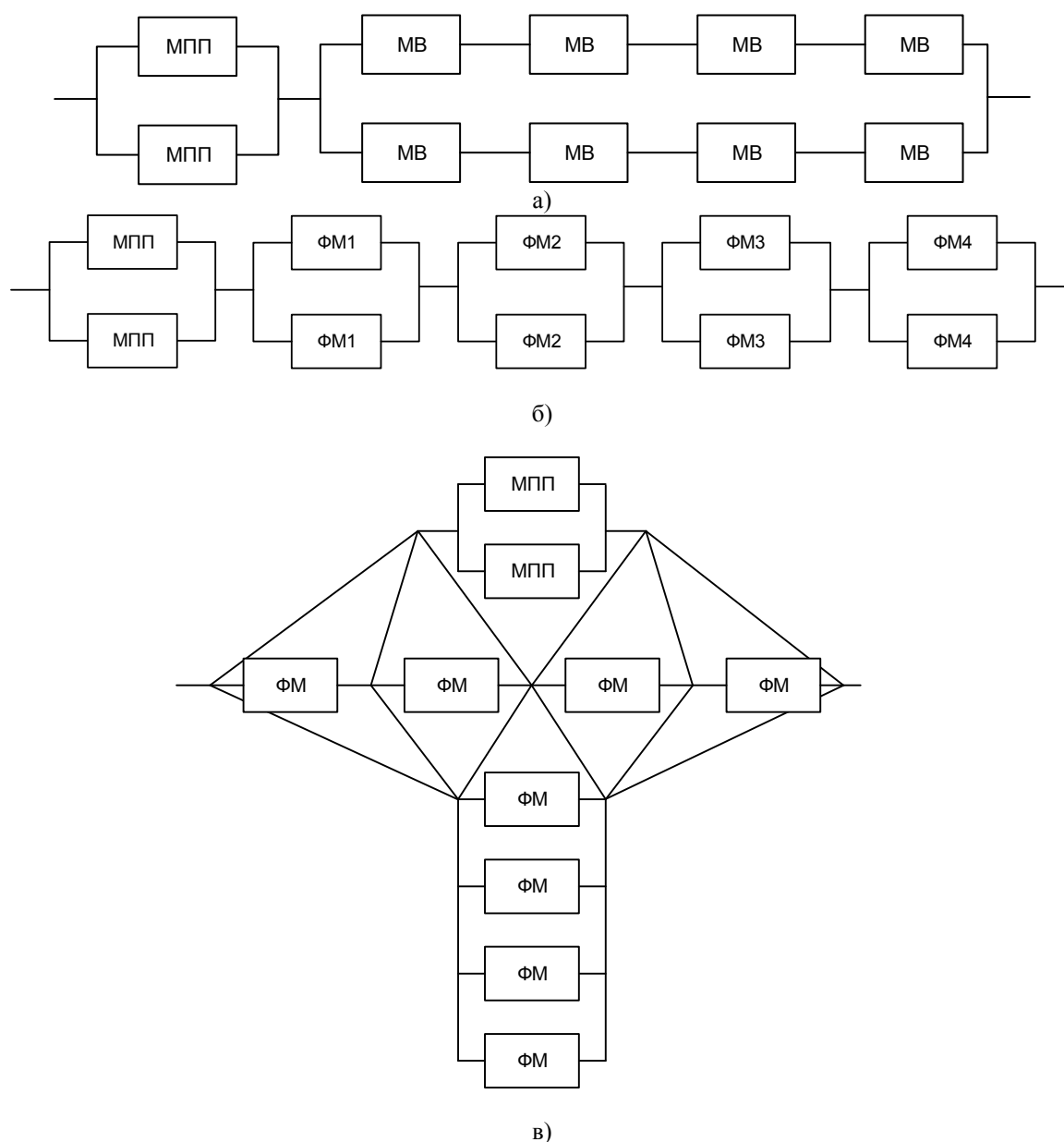


Рис. 3. Эквивалентные схемы надежности:
а) резервирование на уровне подсистем, б) резервирование на уровне однотипных ФМ,
в) скользящее резервирование на уровне идентичных ФМ.

При построении графиков для определенности принята λ -характеристика надежности ФМ на уровне $50 \cdot 10^{-6} 1/\text{ч}$.

На рис. 4б представлена зависимость вероятности безотказной работы вычислителя ИМА для варианта исполнения аппаратуры на морском судне. Время плавания принято для определенности 4 дня (96 ч). На рис. 4в представлена зависимость вероятности безотказной работы для варианта исполнения вычислительной системы на космическом аппарате. Время полета принято для определенности 5000 ч.

Средняя наработка на отказ вычислительных систем для рассматриваемых случаев будет рассчитываться по формуле:

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (8)$$

Результаты расчетов, полученные по формулам (5)–(8), следующие: $T_{P_1(t)} = 6000$ ч, $T_{P_2(t)} = 10127$ ч, $T_{P_3(t)} = 14444$ ч.

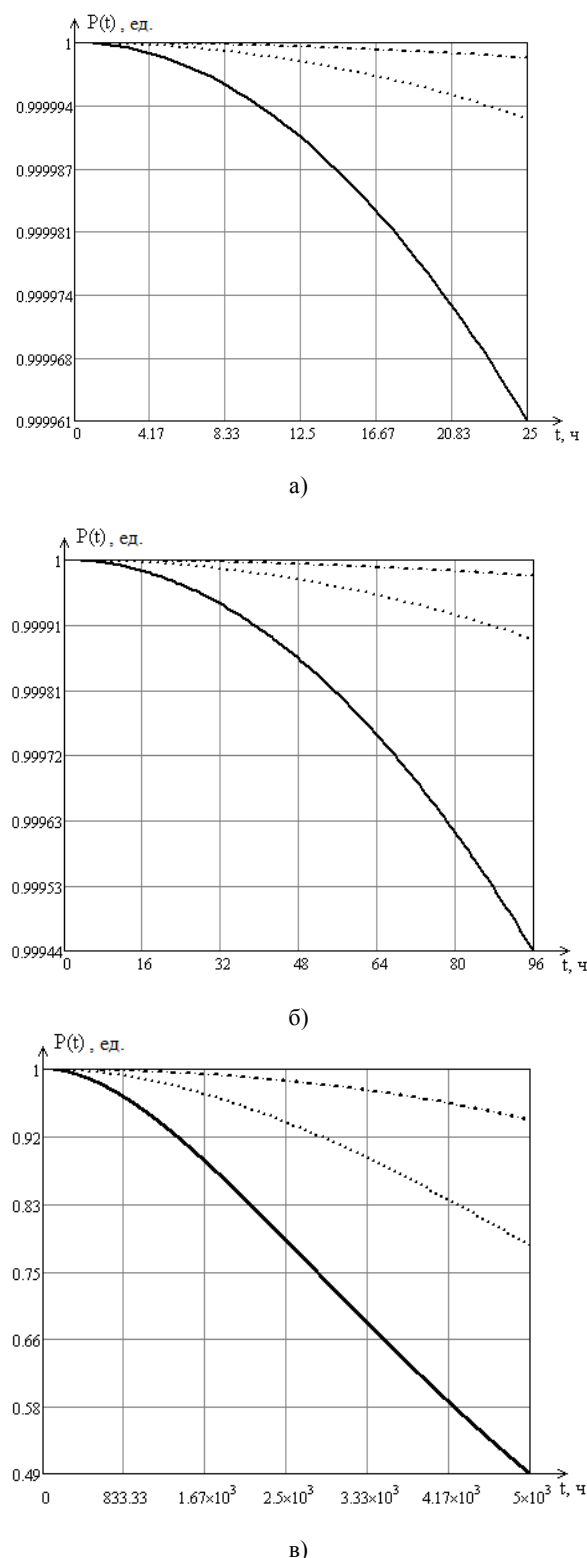


Рис. 4. Семейства зависимостей вероятностей безотказной работы: а) для самолета (25 ч), б) для морского судна (96 ч), в) для космического аппарата (5000 ч)

Выводы.

В результате исследования были рассмотрены различные варианты реализаций внутренней структуры бортовой цифровой вычислительной системы класса ИМА. В варианте исполнения, когда система разделена на две подсистемы, каждая из которой со-

стоит из МПП и 4 ФМ, для исправного состояния вычислителя необходимо, чтобы все модули одной подсистемы были работоспособны. При отказе хотя бы одного ФМ вся подсистема считается неисправной. Для такой системы средняя наработка на отказ составит 6000 ч при λ -характеристике ФМ на уровне $50 \cdot 10^{-6} / \text{ч}$.

В варианте исполнения, когда в системе присутствует 4 разновидности функциональных модулей, каждый из которых резервируется одним модулем такого же типа, и 2 модуля МПП, один из которых находится в резерве, для выхода из строя системы необходимо, чтобы отказали либо одновременно 2 МПП, либо два ФМ одного типа. Средняя наработка на отказ для такого случая при λ -характеристике ФМ на уровне $50 \cdot 10^{-6} / \text{ч}$ составит 10127 ч.

В варианте исполнения, когда в системе присутствует 8 ФМ и 2 МПП, и для работы вычислителя достаточно 4 ФМ и 1 МПП, а в резерве имеется один МПП и 4 ФМ, средняя наработка на отказ при λ -характеристике ФМ на уровне $50 \cdot 10^{-6} / \text{ч}$ составит 14444 ч.

Таким образом, расчеты показали, что самым надежным из рассмотренных вариантов является вариант исполнения внутренней структуры аппаратуры ИМА по схеме, приведенной на рис. 2в.

Литература

1. Богатырев, В. А. Комбинаторно-вероятностная оценка надежности и отказоустойчивости кластерных систем / В. А. Богатырев // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2006. – №6. – С. 21–26.
2. Богатырев, В. А. Надежность вариантов размещения функциональных ресурсов в однородных вычислительных сетях / В. А. Богатырев // Электронное моделирование. – 1997. – №3. – С. 21.
3. Богатырев, В. А. Надежность и эффективность резервирования компьютерных сетей / В. А. Богатырев // Информационные технологии. – 2006. – №9. – С. 25–30.
4. Богатырев, В. А. Оптимальное резервирование системы разнородных серверов / В. А. Богатырев // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2007. – №12. – С. 30–36.
5. Богатырев, В. А. Объединение резервированных серверов в кластеры высоконадежной компьютерной системы / В. А. Богатырев, С. В. Богатырев // Информационные технологии. – 2009. – №6. – С. 41–47.
6. Видин, Б. В. Декомпозиционные методы в задачах распределения вычислительных ресурсов многомашинных комплексов бортовой авионики / Б. В. Видин, И. О. Жаринов, О. О. Жаринов // Информационно-управляющие системы. – 2010. – №1. – С. 2–5.
7. Гатчин, Ю. А. Модели и методы проектирования интегрированной модульной авионики / [Ю. А. Гатчин и др.] // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2010. – №1. – С. 12–20.
8. Гатчин, Ю. А. Основы проектирования вычислительных систем интегрированной модульной авионики / Ю. А. Гатчин, И. О. Жаринов. – М., 2010.
9. Книга, Е. В. Принципы организации архитектуры перспективных бортовых цифровых вычислительных систем в авионике / [Е. В. Книга и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – №2. – С. 163–165.

10. Копорский, Н. С. Организация вычислительного процесса в многомашинном бортовом вычислительном комплексе / Н. С. Копорский, Б. В. Видин, И. О. Жаринов // Известия вузов. Приборостроение. – 2006. – Т. 49. – №6. – С. 41–50.

11. Парамонов, П. П. Интегрированные бортовые вычислительные системы: обзор современного состояния и анализ перспектив развития в авиационном приборостроении / П. П. Парамонов, И. О. Жаринов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – №2. – С. 1.

УДК 66.048

С. В. Лукин, Н. Н. Сеницын

Череповецкий государственный университет,

А. Н. Сурикова

Вологодский государственный университет

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ УСТАНОВКИ ПО ВЫПАРИВАНИЮ ВЛАГИ ИЗ НЕФТЕПРОДУКТОВ

В статье приведены данные по поверочному тепловому расчету существующей установки по выпариванию влаги из нефтепродуктов и предложены мероприятия по увеличению ее производительности и снижению удельного расхода топлива.

Блок разделения нефтешламов, выпарная установка, нефтешлам, тепловая эффективность.

The paper presents the results of verifying calculation of the existing unit for evaporating moisture from mineral oil and methods of increasing its output and decreasing the specific fuel consumption.

Separation oil slime unit, evaporation plant, oil slime, heating efficiency.

Введение.

В настоящее время имеется большое количество различных нефтепродуктов, содержащих влагу, не пригодных к непосредственному использованию. Их переработка в ректификационных колоннах на нефтеперерабатывающих заводах экономически нецелесообразна ввиду их относительно малого выхода, поэтому в последнее время находят применение установки по выпариванию влаги из нефтепродуктов, называемые блоками разделения нефтешламов (со-

кращенно БРНШ). Нефтешламом обычно является эмульсия минерального масла и воды, иногда содержащая твердые примеси.

Основная часть.

В научно-технической литературе отсутствуют методики теплового расчета установок БРНШ, поскольку они появились сравнительно недавно и работают весьма неэффективно. Принципиальная схема установки показана на рис. 1.

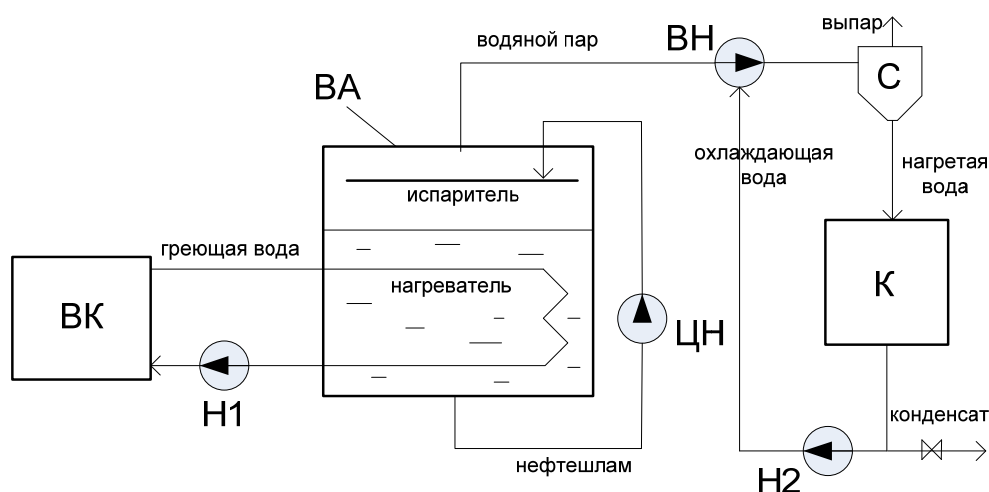


Рис. 1. Принципиальная схема установки БРНШ