

# Оценка показателей достаточности комплекта запасных частей, инструментов и принадлежностей для источников бесперебойного питания центра обработки данных по паспортным данным

## Assessing the sufficiency indicators of a set of spare parts, tools and accessories for uninterruptible power supplies of a data centre using data sheet specifications

Жаднов В.В.  
Valery V. Zhadnov  
asonika-k@yandex.ru



Жаднов В.В.

**Резюме. Цель.** Предложить подход к оценке параметров комплекта запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП) по паспортным данным для промышленных источников бесперебойного питания (ИБП) центров обработки данных с применением современных методик. **Методы.** В статье применяются методы теории надежности, теории марковских процессов, методы оптимизации. **Результаты.** С использованием предложенного подхода для магистрально-модульных ИБП, имеющих резервирование с восстановлением и ограниченный ЗИП, определены этапы параметрического синтеза комплекта ЗИП. Для каждого этапа обосновано применение математических моделей, необходимых для расчета характеристик и параметров надежности комплектующих силовых модулей по показателям надежности ИБП, а также математические модели, связывающие показатели достаточности комплекта ЗИП с его параметрами. Использование этих моделей позволяет по паспортным данным об показателях надежности, ремонтпригодности и готовности ИБП рассчитать интенсивности отказов и восстановлений их силовых модулей, а также среднее время до отказа и среднего времени до восстановления. В свою очередь полученные характеристики надежности являются исходными данными для расчета значений показателей достаточности комплекта ЗИП (среднего времени задержки удовлетворения заявок). Использование величины среднего времени задержки удовлетворения заявок комплектом ЗИП в качестве критерия для среднего времени до восстановления силового модуля позволяет сделать вывод о принципиальной возможности обеспечения заявленных в документации показателей надежности при его эксплуатации, а, следовательно, и о возможности применения этого ИБП. Если такая возможность существует, то используя значение среднего времени задержки удовлетворения заявок в качестве ограничения, а также с учетом ограничений на начальный уровень запасов в комплекте ЗИП, можно синтезировать комплект ЗИП (выбрать стратегию пополнения и определить ее параметры (время доставки и др.)). Сравнение логистических возможностей и полученных в итоге данных для выбранной стратегии пополнения позволит сделать окончательный вывод о возможности сохранения заявленных характеристик надежности ИБП в течение всего времени эксплуатации. С использованием предложенного подхода проведен синтез параметров одиночного комплекта запасных частей, инструмента и принадлежностей на примере ИБП «Protect 3.M». **Заключение.** Предлагаемый в статье подход позволяет для промышленных ИБП, построенных по магистрально-модульной архитектуре с резервированием и восстановлением оценить, как принципиальную возможность обеспечения надежности, заявленной в документации на них, так и экономическую целесообразность их применения. Кроме того, если принципиальная возможность обеспечения надежности ИБП существует, но эксплуатационные затраты на ее поддержание неприемлемы, то следует оценить возможность сокращения числа ремонтных бригад (снижение затрат на их содержание) и/или применения более эффективных способов резервирования (смешанное резервирование, смешанное резервирование с ротацией и др.). Однако следует иметь в виду, что предложенный подход, основанный на использовании математических моделей не гарантирует 100% точности оценки параметров комплекта ЗИП, т.к. использованные в нем математические модели, как и любые другие модели, имеют ограниченную точность и полученные с их помощью результаты требуют экспериментального подтверждения либо испытаниями, либо подконтрольной эксплуатацией.

**Abstract. Aim.** To suggest a method of estimating the parameters of a set of spare parts, tools and accessories (SPTA) according to data sheet specifications for industrial uninterruptible

powers supplies (UPS) of data centres using state-of-the-art techniques. **Methods.** The paper uses methods of the dependability theory, the Markov process theory and the optimisation method. **Results.** Using the suggested approach, the stages of parametric synthesis of an SPTA kit were defined for mainline modular UPS that feature redundancy with repair and limited SPTA. For each stage, the application of mathematical models required for calculating the dependability characteristics and parameters of power module components based on UPS dependability indicators is substantiated along with the mathematical models that associate the sufficiency indicators of an SPTA kit with its parameters. Those models allow calculating the failure and recovery rates of UPS power modules, as well as the mean time to failure and restoration based on the data sheet specifications of reliability, maintainability and availability. In turn, the obtained dependability characteristics are the input data for calculating the SPTA sufficiency values (average delay in meeting a request). Using the value of average delay in meeting a request with an SPTA kit as a criterion for the mean time to power module restoration allows suggesting that it is, in principle, possible to ensure the specified dependability indicators in the course of its operation, and, therefore, such UPS can be used. Should the latter be possible, then using the value of average delay in meeting a request as a restriction, while taking into account the restrictions on the initial SPTA inventory, will allow synthesising the SPTA kit (select a replenishment strategy and define its parameters (delivery time, etc.)). Comparing the logistical capabilities and the resulting data for the selected replenishment strategy will allow making a final conclusion regarding the capability to maintain the specified UPS dependability characteristics throughout the operation period. Using the above method, the parameters were synthesised of a single kit of spare parts, tools and accessories, using the Protect 3.M UPS as an example. **Conclusion.** The approach suggested in the paper allows estimating both the general feasibility of ensuring the specified dependability, and the economic expediency of using industrial mainline modular UPS with redundancy and recovery. Additionally, if ensuring the UPS dependability is possible, but the operating costs of its maintenance are unacceptable, the possibility of reducing the number of repair teams (reducing the cost of their deployment) and/or using more efficient redundancy methods (mixed redundancy, mixed redundancy with rotation, etc.) should be evaluated. However, it should be taken into consideration that the proposed approach based on the use of mathematical models does not guarantee a 100% accuracy of SPTA parameter estimation, as the mathematical models that it uses, like any other models, have a limited accuracy and the results obtained with their help require experimental confirmation by means of testing or controlled operation.

**Ключевые слова:** надежность, готовность, источники бесперебойного питания, комплект ЗИП, эксплуатационные затраты.

**Keywords:** dependability, availability, uninterruptible power supply, SPTA, operating costs.

**Для цитирования:** Жаднов В.В. Оценка показателей достаточности комплекта запасных частей, инструментов и принадлежностей для источников бесперебойного питания центра обработки данных по паспортным данным // Надежность. 2022. №3. С. 11-20. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2022-22-3-11-20>

**For citation:** Zhadnov V.V. Assessing the sufficiency indicators of a set of spare parts, tools and accessories for uninterruptible power supplies of a data centre using data sheet information. *Dependability* 2022;3: 11-20. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2022-22-3-11-20>

**Поступила** 06.04.2022 г. / **После доработки** 05.05.2022 г. / **К печати** 19.09.2022 г.

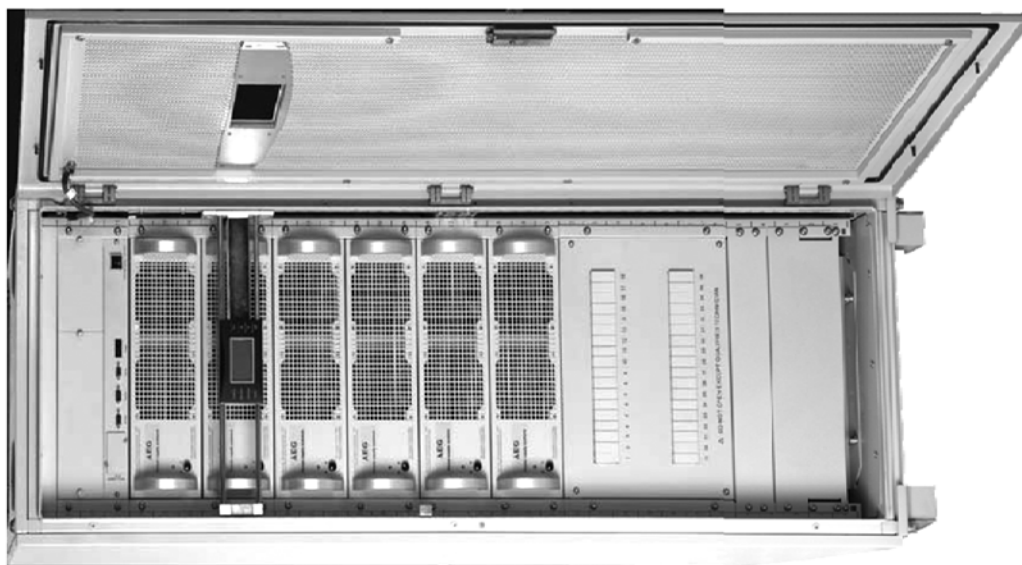
**Received on:** 06.04.2022 / **Revised on:** 05.05.2022 / **For printing:** 19.09.2022.

Одной из важных составных частей инфраструктуры генерации и распределения электроэнергии центров обработки данных (ЦОД) являются электрические устройства специального назначения, к которым относятся источники бесперебойного питания (ИБП) [1]. Поскольку к ЦОД предъявляются высокие требования по надежности, которые приведены в стандартах [2], то при выборе конкретного ИБП его надежность является одним определяющих факторов.

Здесь следует отметить, что сами требования к надежности электронных средств (ЭС), приводимые в отечественных и зарубежных стандартах, в научных публикациях часто имеют различные интерпретации.

Не лучше обстоят дела и с показателями надежности составных частей (СЧ) для ЦОД, которые приводятся в документации на них. Так, на рис. 1 в качестве примера приведены данные с сайта ООО «СИМЭНЕРГО» [3] о показателях надежности ИБП «Protect 3.M».

Как видно из рис. 1, ИБП содержит 6 основных силовых модулей (СМ), число которых может быть увеличено до 8 (т.е. он позволяет подключить до 2-х резервных СМ) и одиночный комплект запасных частей, инструмента и принадлежностей (ЗИП-О), содержащий 1 запасной СМ. Приведенные на рис. 1 показатели надежности ИБП систематизированы и представлены в табл. 1. Для удобства в ней же представлено соответствие этих показателей стандартам [2] и [4].



### Работа в параллельном режиме

Технология N+x обеспечивает возможность гибкой настройки мощности Вашего ИБП в любое время. При этом модульная конструкция обеспечивает активное параллельное дублирование и тем самым – запас защиты. Что касается функционирования устройства, его обслуживания, интеллектуального мониторинга показателей с помощью дисплея и системного программного обеспечения, использования стандартных независимых от производителя ИБП батарей, - вы оцените преимущества PROTECT 3.M.

### • Интегрированный статический байпас

Пассивное дублирование благодаря наличию статического обходного переключателя, которая повышает доступность всей системы и обеспечивает безопасность в случаях перегрузок.

Дополнительный встроенный ручной обходной переключатель, защищенный от ошибочного действия, позволяет осуществить обходное отключение ИБП для его обслуживания.

### • Силовые модули с возможностью «горячей замены»

Простота замены модулей  
Возможность удаления / добавления модулей в процессе работы

Автоматическое подключение, не требующее дополнительных кабельных подключений

### • Высокая способность MTBF (наработка на отказ)

Каждый модуль устройства Protect 3.M является полнофункциональным ИБП. Нет необходимости в дополнительном контролирующем устройстве для параллельного подключения и распределения нагрузки. Что касается расчета системы MTBF, благодаря двум дополнительным модулям ИБП для параллельного дублирования, надежность системы превышает 99.999 %, а MTBF приближается к 15 миллионам часов

### • Среднее время восстановления системы (MTTR)

Если система оснащена одним дополнительным модулем ИБП для параллельного дублирования. Она будет продолжать работать даже в случае отказа одного из модулей ИБП. Процедура замены модулей занимает всего 5 минут, после чего дублирование восстанавливается

Рис. 1. Показатели надежности ИБП «Protect 3.M 2.0»

Табл. 1. Показатели надежности ИБП

№ п/п	Название показателя			Значение		
	Рис. 1	Стандарты [2]	Стандарт [4]	Рис. 1	Tier VI [2]	
	1	2	3	4	5	
1	Надежность системы	Availability	Стационарный коэффициент готовности ( $K_r$ )	>0,99999%	99,995%	
2	Среднее время восстановления системы (MTTR)	-	Среднее время до восстановления ( $T_B$ )	5 мин.	-	
3	Наработка на отказ (MTBF системы)	-	Средняя наработка от момента восстановления до отказа ( $T_O$ )	≈15 млн. ч.	-	
4	Система будет продолжать работать даже в случае отказа одного из модулей	Fault Tolerance	Восстанавливаемость	Резервирование Комплект ЗИП	Постоянный резерв, 2 СМ ЗИП-О, 1 СМ	Fault Tolerant
5	-	Annual Downtime	-	-	0,4 ч.	

Как видно из табл. 1 номенклатуры показателей надежности стандартов [2] и [4] не совпадают. Вопросы установления соответствия требований зарубежных стандартов [2] к надежности ЦОДов и отечественных стандартов по надежности [4] и [5] подробно рассмотрены в [6].

Значения показателя «Annual Downtime» (приведенное среднее время до восстановления – ( $T_{Bн}$ ) на рис. 1 не приводится, но его можно легко рассчитать по формуле, приведенной в [6]:

$$T_{Bн} = (1 - K_r) \cdot 8760 = (1 - 0,99999) \cdot 8760 = 8,76 \cdot 10^{-2} \text{ ч.} \quad (1)$$

Как видно из (1) и табл. 1, показатели надежности ИБП «Protect 3.M 2.0» свидетельствуют о его соответствии требованиям уровня Tier VI [4] к надежности ЦОД.

Кроме того, из (1) следует, что выполнения требований к  $K_r$  «автоматически» гарантирует выполнение требований к  $T_{Bн}$ , а это значит, что требования стандартов [2] более «мягкие», чем стандарта [5], т.к. они нормируют только отношение  $T_B$  к  $T_O$ , которое определяет величину  $K_r$  [7]:

$$K_r = \frac{1}{1 + \frac{T_B}{T_O}} \quad (2)$$

где  $T_B$  – среднее время до восстановления;  $T_O$  – средняя наработка от момента восстановления до отказа.

Напомним, что стандарт [5] для объектов с ограничением на продолжительность восстановления (к которым относится ИБП) дополнительно к  $K_r$  требует нормирования именно значения  $T_B$ , величина которого зависит и от показателей достаточности системы ЗИП [8].

Теперь найдем  $K_r$  по значениям  $T_O$  и  $T_B$  (см. табл. 1) по формуле (2):

$$K_r = \frac{1,5 \cdot 10^7}{1,5 \cdot 10^7 + 0,08(3)} = 0,999999994. \quad (3)$$

Как видно из полученного результата, надежность ИБП превышает не «пять девяток», а целых восемь! Заметим, что для обеспечения такого значения  $K_r$  требуется «мгновенное» пополнение ЗИП-О и 8 ремонтных бригад с круглосуточным режимом дежурства. Впрочем,

этот расчет не имеет особого смысла, т.к. не учитывает особенностей ИБП «Protect 3.M 2.0».

На самом деле приведенные в [3] данные содержат ряд неточностей и не дают объективной информации о надежности ИБП. Так, показатели надежности приведены не для ИБП, а для некоторой «системы», время замены СМ ( $T_{3см}$ ) [8] (среднее время восстановления СМ ( $T_{Всм}$ ) по [4]) обозначено MTTR, т.е. приравнено к среднему времени до восстановления этой системы ( $T_B$ ) [4], а средняя наработка от момента восстановления системы до ее отказа ( $T_O$ ) [4] (наработка на отказ по [9]), хотя и названа «наработкой на отказ», но приравнена к «MTBF» (средней наработке между отказами).

Тем не менее, из приведенных на рис. 1 сведений можно сделать вывод о том, что силовая часть ИБП представляет собой резервированную группу СМ вида «постоянное резервирование «6 из 8» с неограниченным восстановлением» [10], ИБП содержит ключ «BY-PASS» с «ручным» управлением (B-Pp), который реализует ненагруженное резервирование ИБП в целом, и коммуникационный модуль (КМ). Кроме того, к силовой части ИБП придан комплект ЗИП-О [4, 8], содержащий 1 запасной силовой модуль.

На основе вышеизложенного, структурную схему надежности (СН) [10] ИБП можно представить в виде, показанном на рис. 2.

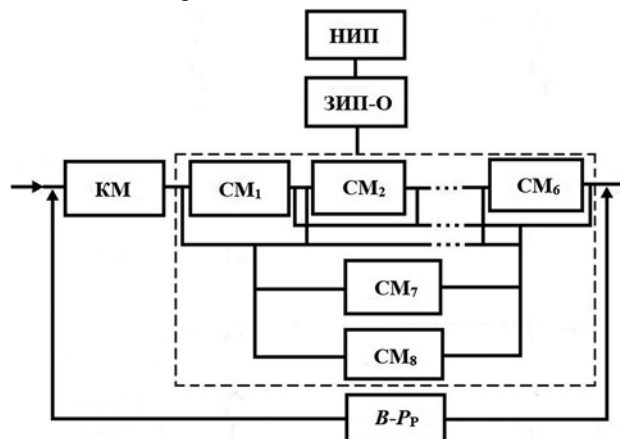


Рис. 2. Структурная схема надежности ИБП «Protect 3.M 2.0m rack»



№	Компонент оборудования системы	Заявленная надежность			Кол-во элементов	Вероятность отказа с учетом дублирования
		MTBF* (час.)	MTBF (лет)	Вероятность отказа за год		
Блейд-ферма виртуализации						
8	HP BLc7000 CTO 3 IN LCD ROHS Encl	300000	34,2466	0,0292	2	0,0000047
9	HP BL680c G7 W CTO Blade	300000	34,2466	0,0292	2	0,0000047
14	HP 300GB 6G SAS 10K 2.5in DP ENT HDD	1200000	136,89	0,0073	>2 (4)	0,000000292
15	HP BLc QLogic QMH2562 8Gb FC HBA Opt	120000	13,698	0,073	>2 (4)	0,0000292
16	HP BLc Cisco 1GbE 3120G Switch	120000	13,698	0,073	2	0,0000292

Рис. 3. Фрагмент расчета, приведенного в [14]

Как видно из рис. 2, ССН содержит как восстанавливаемую часть (резервированная группа «6 из 8» – выделена «пунктиром»), так и невосстанавливаемую, и комплект ЗИП-О, который пополняется из неисчерпаемого источника пополнения (НИП) [8]. Поэтому под «системой» в [3] подразумевается только силовая часть ИБП, для которой приведены показатели «надежности системы» ( $K_r$  и  $T_o$ ) и среднее время восстановления силового модуля ( $T_{вс.мод.}$ ).

Для расчетов надежности таких ССН созданы методики, приведенные в многочисленных научных публикациях, и «узаконены» в стандарте [7], а также применяются специализированные программные средства [11].

Вместе с тем, к расчетной оценке надежности ЭС у многих специалистов негативное отношение. Это связано с тем, что часто результаты расчетов могут сильно отличаться от реальной статистики отказов ЭС, в т.ч. ЦОД [12].

Одной из главных причин такого положения дел в [13] называют использование «... формул расчета надежности 70-х и 80-х гг.» и в подтверждение этого приводят пример расчета стационарного коэффициента готовности ( $K_r$ ) дублированной группы серверов с ограниченным восстановлением (одна ремонтная бригада), выполненного с использованием одной из таких формул:

$$K_r = \frac{2 \cdot \lambda \cdot \mu + \mu^2}{2 \cdot \lambda^2 + 2 \cdot \lambda \cdot \mu + \mu^2}, \quad (4)$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов сервера;  $\mu$  – интенсивность восстановления сервера.

При принятых в [13]  $\lambda=5 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$  и  $\mu=0,25 \text{ ч}^{-1}$  значение  $K_r$  равно 0,99999992, и исходя из этого результата («семь девяток»), авторы делают вывод о том, что он является «явно завышенным».

Но в [13] нет ни слова об условиях и допущениях, которые приняты в классической теории надежности и

массового обслуживания, в т.ч., что отказы основного и резервного сервера обнаруживаются мгновенно. При этом в другой статье [14] те же авторы на том же примере показывают, что модель (4) не учитывает «скрытые» отказы серверов и, используя те же методы теории надежности и массового обслуживания, строят схему переходов и рассчитывают  $K_r$  для такого случая, тем самым подтверждая очевидный вывод о том, что при формальном использовании формул результат может показаться «явно завышенным».

Но это только часть распространенных причин, причем не самая критическая. Другое дело, когда приводят и заведомо неверные расчеты. Так, достоверность растиражированного в сети «Расчета коэффициента готовности для ИТ-системы» [15] вызывает ряд вопросов. Например, сразу бросается в глаза то, что «вероятность отказа с учетом дублирования» однотипных компонентов, что для 2-х, что для 4-х, у автора получилось одинаковой (см. рис. 3).

Поэтому прежде, чем принимать решение о возможности применения той или иной СЧ, следует проверить, насколько можно доверять заявленным показателям надежности.

Так, для ИБП «Protect 3.M 2.0» необходимо проверить, достаточно ли начального уровня запасов в комплекте ЗИП-О (1 СМ) для поддержания его надежности при эксплуатации.

Для определенности примем, что  $K_r=0,99999(4)$  и  $T_o=1,5 \cdot 10^7 \text{ ч.}$ , поскольку  $K_r$  «системы» больше 99,999 %, а  $T_o$  «системы» приближается к 15 млн часов. Для этих значений  $K_r$  и  $T_o$  найдем среднее время до восстановления «системы», разрешив (2) относительно  $T_B$ :

$$T_B = \frac{1 - 0,99999(4)}{0,99999(4)} \cdot 1,5 \cdot 10^7 = 83,334 \text{ ч.} \quad (5)$$

Тогда  $MTBF$  будет равно:

$$MTBF = 15000000 + 83,334 = 15000083,334 \text{ ч.}$$

Проверим соответствие  $T_{Вп}$  требованиям стандартов [2] по формуле, приведенной в [6]:

$$T_{Вп} = \frac{8760}{15000083,334} \cdot 83,334 = 4,87 \cdot 10^{-2} \text{ ч.} \quad (6)$$

Для сравнения найдем  $K_r$  при  $T_{Вп} = 0,4$  ч.:

$$T_B = \frac{15000083,334}{8760} \cdot 0,4 = 685 \text{ ч.} \quad (7)$$

$$K_r = \frac{1,5 \cdot 10^7}{1,5 \cdot 10^7 + 685} = 0,9999543. \quad (8)$$

Как видно из полученного результата, это значение  $K_r$  полностью совпадает с требованиями стандартов [2] для Tier VI, но это не дает ответа на вопрос о возможности обеспечения требуемого значения  $T_B$  при одном запасном СМ в комплекте ЗИП.

Для проверки этого найдем значение среднего времени до восстановления силового модуля ( $T_{Всм}$ ) из формулы, приведенной в [7] для постоянного резервирования «N из M» с восстановлением:

$$T_B = \frac{T_{Всм}}{N_p + 1} \quad (9)$$

где  $N_p$  – число резервных СМ.

Разрешив (9) относительно  $T_{Всм}$ , получим

$$T_{Всм} = 83,334 \cdot 3 = 250 \text{ ч.} \quad (10)$$

Заметим, что  $T_{Всм}$  для резервированных восстанавливаемых изделий при ограниченном ЗИП определяется по формуле, приведенной в [8]

$$T_{Всм} = T_{Всм,о} + \Delta t_{ЗИП-О} \quad (11)$$

где  $\Delta t_{ЗИП-О}$  – среднее время задержки в удовлетворении заявок на ЗЧ комплектом ЗИП.

Кроме того, полученное значение  $T_{Всм} \gg 5$  мин, что подтверждает вывод о том, что  $MTTR$  «системы» в [3] – это  $T_{Всм,о}$ .

Т.к. «система» в данном случае является резервированным восстанавливаемым изделием, то для этого значения  $T_{Всм}$  найдем значение средней наработки до отказа (до первого отказа [4]) силового модуля ( $T_{СРсм}$ ), которая связана с  $T_O$  «системы» соотношением, приведенным в [7] для постоянного резервирования «N из M» с неограниченным восстановлением:

$$T_O = \frac{T_{СРсм}}{N_O} \cdot \frac{\sum_{i=0}^{N_p} \left[ C_{(N_O+N_p)}^i \cdot \left( \frac{T_{Всм}}{T_{СРсм}} \right)^i \right]}{C_{(N_O+N_p)}^{N_p} \cdot \left( \frac{T_{Всм}}{T_{СРсм}} \right)^{N_p}} \quad (12)$$

Подставив значения  $N_O, N_p, T_O$  и  $T_{Всм}$  в (12), получим:

$$1,5 \cdot 10^7 = \frac{T_{СРсм}}{6} \cdot \frac{\sum_{i=0}^2 \left[ C_8^i \cdot \left( \frac{250}{T_{СРсм}} \right)^i \right]}{28 \cdot \left( \frac{250}{T_{СРсм}} \right)^2} \quad (13)$$

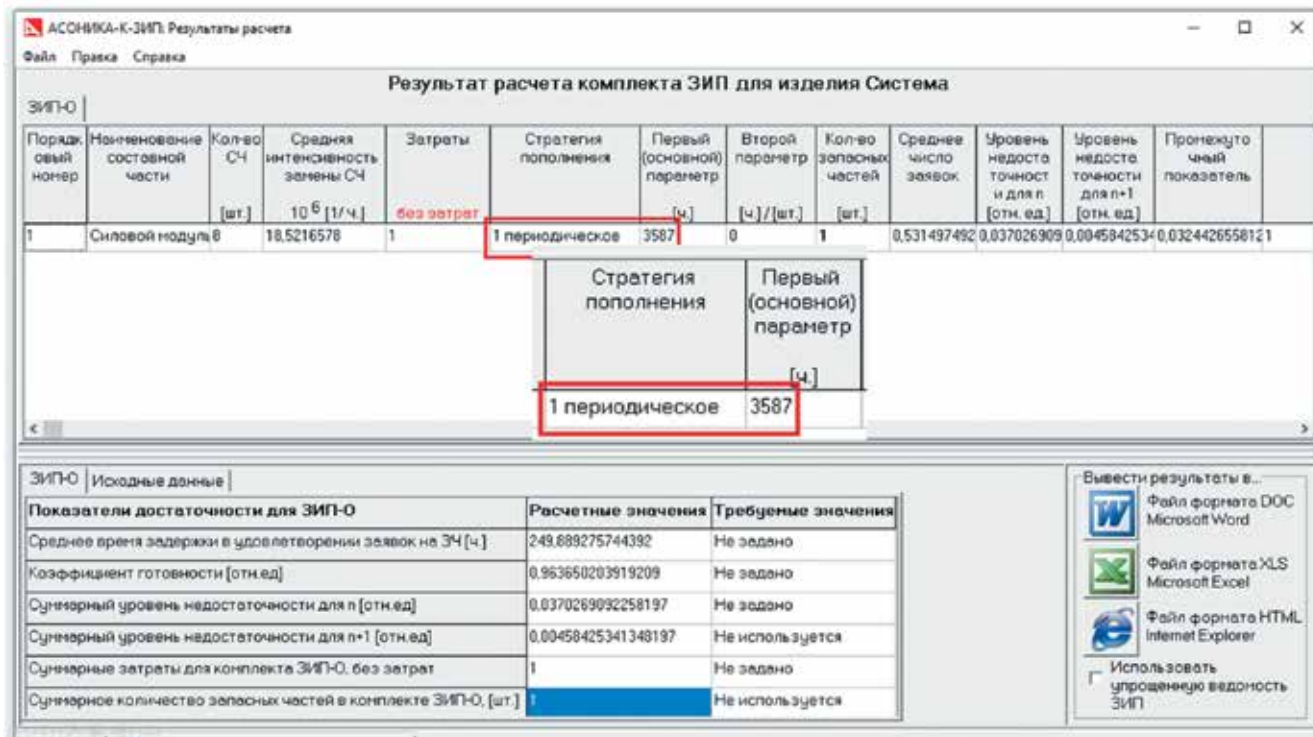


Рис. 4. АСОНИКА-К-ЗИП: Результаты расчета  $T_{п}$  для периодической стратегии пополнения

Табл. 2. Показатели надежности «системы»

№ п/п	Название показателя			Значение	Название показателя	Требуемое значение
	1			2	3	4
1	K <sub>Г</sub> (стационарный коэффициент готовности системы)			0,999994	Availability	99,995 %
2	T <sub>Вн</sub> (приведенное среднее время до восстановления системы)			3 мин.	Annual Downtime	0,4 ч.
3	Восстановливаемость	Резервирование	Тип	Постоянное резервирование «N из M» с восстановлением	Fault Tolerance	Fault Tolerant
			N <sub>О</sub> (число основных СМ)	6		
			N <sub>Р</sub> (число резервных СМ)	2		
		Восстановление	Тип	Неограниченное		
			Число РБ	8		
		Система ЗИП	Тип	Комплект ЗИП-О		
			Δt <sub>ЗИП-О</sub> (среднее время задержки в удовлетворении заявок на ЗЧ)	249,9 ч.		
			Начальный уровень запаса	1 СМ		
Стратегия пополнения	Периодическая					
		T <sub>П</sub> (период пополнения)	5 мес.			
4	T <sub>О</sub> (средняя наработка от момента восстановления до отказа системы)			15 млн. ч.		
5	T <sub>В</sub> (среднее время до восстановления системы)			84 ч.		
6	K <sub>Г∞</sub> (стационарный коэффициент готовности системы при «бесконечном» ЗИП)			0,99999994	-	-
7	Характеристики СМ	T <sub>СРСМ</sub> (средняя наработка до отказа СМ)		54 тыс. ч.		
		λ <sub>СМ</sub> (интенсивность отказов СМ)		1,85 · 10 <sup>-5</sup> ч <sup>-1</sup>		
		T <sub>ВСМ</sub> (среднее время до восстановления СМ)		250 ч.		
		T <sub>ВСМ∞</sub> (среднее время восстановления СМ)		5 мин.		

Разрешив (13) относительно  $T_{СРСМ}$ , получим  $T_{СРСМ}=54$  тыс. ч, и, соответственно,  $\lambda_{СМ}=1,85 \cdot 10^{-5}$  ч<sup>-1</sup>.

Из (12) следует, что величина  $T_{О}$  зависит от  $T_{СРСМ}$ ,  $N_{Р}$  и  $T_{ВСМ}$ , а т.к. увеличение  $T_{ВСМ}$  приводит к увеличению  $T_{В}$ , и, следовательно, к снижению  $K_{Г}$ , то для сохранения значения  $K_{Г}$  при увеличении  $T_{ВСМ}$  (при ограничении на ЗИП и/или на восстановление), необходимо увеличивать  $T_{О}$  либо применяя более надежные модули (увеличивая  $T_{СРСМ}$ ), либо повышая число резервных модулей (увеличивая  $N_{Р}$ ).

Поскольку  $T_{ВСМ}$  зависит от  $\Delta t_{ЗИП-О}$ , то необходимо определить параметры комплекта ЗИП-О.

Для этого найдем значение  $\Delta t_{ЗИП-О}$ , обеспечивающее  $T_{ВСМ} \leq 250$  ч (и, соответственно,  $T_{В} \leq 83$  ч и  $K_{Г} > 0,99999$ ), разрешив (11) относительно  $\Delta t_{ЗИП-О}$ :

$$\Delta t_{ЗИП-О} = 250 - 0,08(3) = 249,91(6) \text{ ч.} \quad (14)$$

Т.к. при непрерывной стратегии пополнения время доставки ЗЧ ( $T_{П}$ ) может быть существенно меньше, чем при периодической [8], а  $\Delta t_{ЗИП-О} \gg T_{ВСМ\infty}$ , поэтому примем последнюю для пополнения комплекта ЗИП-О.

Методом дихотомии [16], путем повторных расчетов  $\Delta t_{ЗИП-О}$  с помощью системы АСОНИКА-К-ЗИП [17],

подберем такое значение  $T_{П}$ , которое обеспечивает требуемое значение  $\Delta t_{ЗИП-О}$ .

Результаты итогового расчета приведены на рис. 4.

Из рис. 4 следует, что при уровне запасов комплекта ЗИП-О в 1 СМ, периодической стратегии пополнения и неограниченном восстановлении для обеспечения требуемого значения  $\Delta t_{ЗИП-О}$  величина  $T_{П}$  должна быть не более 5 месяцев.

Расчитанные выше показатели надежности «системы» сведены в табл. 2.

Еще одним важным критерием при выборе той или иной СЧ являются затраты на поддержание ее надежности при эксплуатации. Среди составляющих эксплуатационных затрат можно выделить затраты на ЗЧ и на содержание ремонтных бригад. Параметры ЗИП-О и число и ремонтных бригад влияют на величину  $T_{ВСМ}$ . Т.к. в данном примере задано ограничение на число ЗЧ (1 СМ), то число ремонтных бригад можно попробовать уменьшить за счет снижения  $T_{П}$ .

Для проверки этой возможности рассчитаем  $K_{Г}$  «системы» при ограниченном восстановлении (1 ремонтная бригада). Т.к. в [7] формул расчета  $K_{Г}$  для этого случая не приводится, то воспользуемся рекомендован-

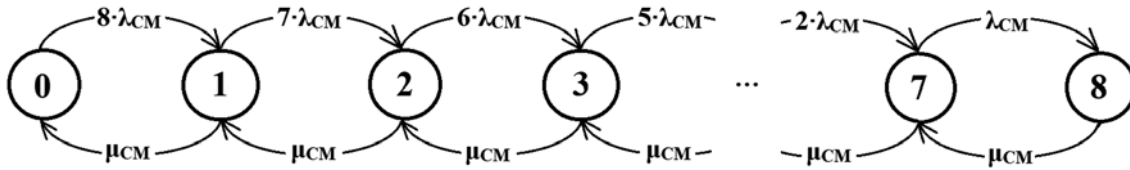


Рис. 5. Схема переходов

ной в нем методикой расчета  $K_{\Gamma}$ , основанной на применении методов теории однородных марковских процессов.

Схема переходов «системы» из каждого возможного состояния в другое возможное состояние показана на рис. 5.

Для этой схемы после соответствующих преобразований [7] получим систему алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} -8 \cdot \lambda_{CM} \cdot P_0 + \mu_{CM} \cdot P_1 = 0 \\ P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 = 1 \\ 7 \cdot \lambda_{CM} \cdot P_1 - (6 \cdot \lambda_{CM} + \mu_{CM}) \cdot P_2 + \mu_{CM} \cdot P_3 = 0 \\ 6 \cdot \lambda_{CM} \cdot P_2 - (5 \cdot \lambda_{CM} + \mu_{CM}) \cdot P_3 + \mu_{CM} \cdot P_4 = 0, \\ \dots \\ 2 \cdot \lambda_{CM} \cdot P_6 - (\lambda_{CM} + \mu) \cdot P_7 + \mu_{CM} \cdot P_8 = 0 \\ \lambda_{CM} \cdot P_7 - \mu_{CM} \cdot P_8 = 0 \end{cases} \quad (15)$$

после решения которой рассчитывается значение  $K_{\Gamma}$  [7]:

$$K_{\Gamma} = \sum_{k=0}^2 P_k \quad (16)$$

Методом дихотомии, путем повторных расчетов по (15) и (16) подберем такое значение  $\mu_{CM}$ , которое обеспе-

чивает  $0,99999 < K_{\Gamma} \leq 0,99999(4)$ . Результаты итогового расчета при  $\mu_{CM} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$  ( $T_{BCM} = 167 \text{ ч.}$ ) приведены ниже.

Вероятности состояний:

$$\begin{aligned} P_0 &= 0,97538211793609989579 \\ P_1 &= 0,02408759175020224604 \\ P_2 &= 0,00052049915356057392 \\ P_3 &= 0,0000096405072074386 \dots \\ P_7 &= 0,00000000000010504987 \\ P_8 &= 0,0000000000000032428 \end{aligned} \quad (17)$$

Коэффициент готовности:

$$K_{\Gamma} = 0,99999020883986271575. \quad (18)$$

Т.к. в этом случае  $K_{\Gamma}$  удовлетворяет требованиям, то найдем значение  $T_{\Pi}$  приведенным выше методом.

Рассчитаем требуемое значение  $\Delta t_{ЗИП-0}$ :

$$\Delta t_{ЗИП-0} = 166, (6) - 0,08(3) = 166,58(3) \text{ ч.} \quad (19)$$

С помощью системы АСОНИКА-К-ЗИП подберем значение  $T_{\Pi}$  (см. рис. 6).

Порядковый номер	Наименование составной части	Кол-во СЧ [шт.]	Средняя интенсивность замены СЧ $10^6 [1/\text{ч}]$	Затраты	Стратегия пополнения	Первый (основной) параметр [ч.]	Второй параметр [ч.]/[шт.]	Кол-во запасных частей [шт.]	Среднее число заявок	Уровень недоста точности для n [отн. ед.]	Уровень недоста точности для n+1 [отн. ед.]	Промежуточный показатель
1	Силовой модуль 8	18.5216578	1	без затрат	1 периодическое	2863	0	1	0.424220050	0.024672441	0.0024781845	0.0221942565741

Показатели достаточности для ЗИП-0	Расчетные значения	Требуемые значения
Среднее время задержки в удовлетворении заявок на ЗЧ [ч.]	166.51750389019	Не задано
Коэффициент готовности [отн. ед.]	0.975629435789272	Не задано
Суммарный уровень недостаточности для n [отн. ед.]	0.024672441109813	Не задано
Суммарный уровень недостаточности для n+1 [отн. ед.]	0.00247818453564216	Не используется
Суммарные затраты для комплекта ЗИП-0, без затрат	1	Не задано
Суммарное количество запасных частей в комплекте ЗИП-0 [шт.]	1	Не используется

Рис. 6. АСОНИКА-К-ЗИП: Результаты расчета  $T_{\Pi}$  для ограниченного восстановления



Из рис. 6 видно, что при сокращении числа ремонтных бригад до одной необходимо снизить  $T_{\Pi}$  до 2863 ч, а это позволит снизить затраты на их содержание в 8 раз (заметим, что в данном расчете снизился и  $K_T$  «системы»). При этом следует иметь в виду, что одновременно возрастет количество поставок ЗЧ, а, следовательно, и суммарные затраты на ЗЧ (на 25 %). Поэтому если итоговые эксплуатационные затраты окажутся неприемлемыми, то следует рассмотреть возможность применения более эффективных способов резервирования (например, смешанное резервирование СК или смешанное резервирование с ротацией СК [18]).

Таким образом, проведенные выше расчеты параметров ЗИП-О подтверждают достаточность начального уровня запасов комплекта ЗИП-О в 1 СМ для обеспечения  $K_T > 0,99999$ , а, следовательно, и сделанный выше вывод о возможности применения ИБП в ЦОД, отвечающим требованиям Tier VI. Однако этот вывод не верен, т.к. при проверке соответствия ИБП требованиям Tier VI его надежность сравнивалась с надежностью ЦОД, что является типичной ошибкой. Чтобы избежать подобных ошибок при оценке возможности применения той или иной СЧ необходимо предварительно распределить требования стандартов [2] к готовности ЦОДа ( $K_{Г_{\text{ЦОД}}}$ ) по каждой его  $i$ -ой СЧ (т.е. определить требуемые значения  $K_{Г_{\text{СЧ}_i}}$ ), что само по себе является нетривиальной задачей.

Но после определения  $K_{Г_{\text{СЧ}_i}}$  может оказаться, что приведенные в табл. 2 показатели надежности ИБП и полученные для них параметры ЗИП-О не обеспечат возможности применения ИБП не только в ЦОД уровня Tier VI, но и более низких уровней, поскольку  $I \gg 1$  и, следовательно, требования к надежности СЧ <sub>$i$</sub>  будут всегда более жесткие, чем к надежности ЦОД.

Поэтому знание аналитических моделей и умение их применять может оказаться полезным в случае, если необходимо провести сравнительный анализ различных ИБП не только по показателям надежности, но и по величине эксплуатационных затрат на поддержание требуемого уровня их надежности. Вместе с тем, расчеты надежности, как и любые другие расчеты, имеют ограниченную точность, а полученные значения показателей надежности требуют экспериментального подтверждения либо испытаниями, либо подконтрольной эксплуатацией ИБП.

## Библиографический список

- ГОСТ Р 30134-1-2018 Информационные технологии. Центры обработки данных. Ключевые показатели эффективности. Часть 1. Основные положения и общие требования. М.: Стандартинформ, 2018. IV. 10 С.
- TIA-942. Data Center Standards Overview. ADC. 2006.
- Модульный источник бесперебойного питания (ИБП), параллельное резервирование, стоечное ис-

полнение 15 кВА-120 кВА. Волгоград. ООО «СИМЭ-НЕРГО» [электронный ресурс]. URL: [https://simenergo.com/catalog/stancii/istochniki\\_bespereboynogo\\_pitaniya/aeg\\_power\\_solutions/ibp\\_aeg\\_protect\\_3\\_m\\_15\\_120\\_kva](https://simenergo.com/catalog/stancii/istochniki_bespereboynogo_pitaniya/aeg_power_solutions/ibp_aeg_protect_3_m_15_120_kva) (дата обращения: 10.14.2021).

4. ГОСТ 27.002-2015. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016. IV. 23 С.

5. ГОСТ 27.003-2016. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. М.: Стандартинформ, 2017. IV. 18 С.

6. Жаднов В. В. Анализ требований к надежности центров обработки данных // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». Т. 1. Пенза: Издательство ПГУ, 2021. С. 247-251.

7. ОСТ 4Г 0.012.242-84. Отраслевой стандарт. Аппаратура радиоэлектронная. Методика расчета показателей надежности. М.: ВНИИ, 1985. 49 С.

8. ГОСТ 27.507-2015. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Запасные части, инструменты и принадлежности. Оценка и расчет запасов. М.: Стандартинформ, 2016. III. 48 С.

9. ГОСТ 27.002-89. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1990. 37 С.

10. ГОСТ Р 51901.14-2007. Менеджмент риска. Структурная схема надёжности и булевы методы. М. Стандартинформ. 2008. IV. 23 С.

11. Строганов А., Жаднов В., Полесский С. Обзор программных комплексов по расчету надёжности сложных технических систем // Компоненты и технологии. 2007. № 5. С. 183-190.

12. Аварии в ЦОДах: статистика – вещь упрямая // ЦОДы РФ. 2013. № 13. С. 30-33.

13. Аверьянов Д., Куперман М. Правда «пяти девяток» // ИКС. 2010. № 6. С. 84-87.

14. Куперман М.Б. Аверьянов Д.Е. Подход к оценке надежности кластерных структур. // Научные ведомости. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 2010. № 13. Вып. 15/1. С. 143-149.

15. Пример расчета «коэффициента готовности» для IT-системы. Хабр [электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/418769/> (дата обращения: 10.14.2021).

16. Гончаров В.А. Методы оптимизации: учебное пособие. М.: МИЭТ, 2008. 188 с.

17. АСОНИКА-К-ЗИП 4.0 Жаднов В.В., Полесский С.Н. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2013661642, 11.12.2013. Заявка № 2013619731 от 25.10.2013.

18. Жаднов В.В., Лукина А.С., Целищев И. С. Оценка эффективности способов резервирования магистрально-модульных источников вторичного электропитания // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2021. Т. 64. № 9. С. 741-751. DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-9-741-751.

## References

1. GOST R 30134-1-2018. Information technology. Data centres. Key performance indicators. Part 1. Overview and general requirements. Moscow: Standartinform; 2018. (in Russ.)
2. TIA-942. Data Center Standards Overview. ADC; 2006.
3. [Modular uninterruptible power supply (UPS), parallel redundancy, rack-mounted design 15 kVA-120 kVA. Volgograd. OOO SIMENERGO]. (accessed: 10.14.2021). Available at: [https://simenergo.com/catalog/stancii/istochniki\\_bespereboynogo\\_pitanija/aeg\\_power\\_solutions/ibp\\_aeg\\_protect\\_3\\_m\\_15\\_120\\_kva](https://simenergo.com/catalog/stancii/istochniki_bespereboynogo_pitanija/aeg_power_solutions/ibp_aeg_protect_3_m_15_120_kva). (in Russ.)
4. GOST 27.002-2015. Dependability in technics. Terms and definitions. Moscow: Standartinform; 2016. (in Russ.)
5. GOST 27.003-2016. Industrial product dependability. Contents and general rules for specifying dependability requirements. Moscow: Standartinform; 2017. (in Russ.)
6. Zhadnov V.V. [Analysis of data centre dependability requirements]. In: [Proceedings of the International Symposium Dependability and Quality. Vol. 1]. Penza: PSU Publishing; 2021. Pp. 247-251. (in Russ.)
7. OST 4G 4.012.013-84. [Industry standard. Electronic equipment. Method for dependability indicator calculation]. Moscow: VNII; 1985. (in Russ.)
8. GOST 27.507-2015. Reliability in technique. Spare parts, tools and accessories. Evaluation and calculation of reserves. Moscow: Standartinform; 2016. (in Russ.)
9. GOST 27.002-89. Industrial product dependability. General concepts. Terms and definitions. Moscow: Standartinform; 1990. (in Russ.)
10. GOST R 51901.14-2007 Risk management. Reliability block diagram and Boolean methods. Moscow: Standartinform; 2008. (in Russ.)
11. Stroganov A., Zhadnov V., Polesky S. [Overview of software suites for complex technical system dependability computation]. *[Components and technologies]* 2007;5:183-190. (in Russ.)
12. Data Center Emergency: Statistics is a Stubborn Thing. *DC Journal* 2015;13:30-33. (in Russ.)
13. Averianov D., Kuperman M. [The truth of the “five nines”]. *IKS* 2010;6:84-87. (in Russ.)
14. Kuperman M.B., Averjanov D.E. Models are resulted and parities are received for cluster reliability estimation. *Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Istorija. Politologija. Ekonomika. Informatika* 2010;13:143-149. (in Russ.)
15. [An example of “availability coefficient” calculation for an IT system]. (accessed 10.14.2021). Available at: <https://habr.com/ru/post/418769/>. (in Russ.)
16. Goncharov V.A. [Methods of optimization: a study guide]. Moscow: MIET; 2008. (in Russ.)
17. Zhadnov V.V., Polesky S.N. ASONIKA-K-ZIP 4.0. Certificate of registration of a computer program RU 2013661642, 11.12.2013. Application no. 2013619731 of 25.10.2013. (in Russ.)
18. Zhadnov V.V., Lukina A.S., Tselishchev I.S. [Evaluating the efficiency of the redundancy methods of modular mainline secondary power sources]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie* 2021;64(9):741-751. DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-9-741-751. (in Russ.)

## Сведения об авторе

**Жаднов Валерий Владимирович** – кандидат технических наук, доцент, Москва, Российская Федерация, e-mail: [asonika-k@yandex.ru](mailto:asonika-k@yandex.ru)

## About the author

**Velery V. Zhadnov**, Candidate of Engineering, Associate Professor, Moscow, Russian Federation, e-mail: [asonika-k@yandex.ru](mailto:asonika-k@yandex.ru).

## Вклад автора в статью

Автор предложил подход к расчету эксплуатационных затрат по данным технической документации на ИБП.

## Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.