

УДК 681.5.09

ПРОЕКТНЫЙ РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЗАВОДА ПО ПРОИЗВОДСТВУ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Алпатов Д.А.

Самарский государственный технический университет, Самара, e-mail: alpatovdenis@inbox.ru

Автоматизация технологических процессов является одним из ключевых направлений развития современной промышленности. Она позволяет повысить производительность, качество и надежность производственных процессов, а также снизить затраты на производство. Однако, для обеспечения надежности и безотказности таких систем, необходимо проведение проектного расчета, учитывающего риски и возможные отказы. Данная статья посвящена проектному расчету надежности автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии (АСКУ ЭР) на заводе по производству сжиженного природного газа (СПГ). Проводится анализ и оценка технических и программных решений для определения степени надежности текущей системы. Основное внимание уделяется переходному процессу интенсивности отказов системы в зависимости от наработки. Производится модернизация системы за счет внедрения более надежного и устойчивого к отказам оборудования. Таким образом, достигается необходимый уровень надежности исследуемого объекта, что крайне важно, так как стабильная работа системы приведет к повышению эффективности работы, удобству использования и оптимизации электроэнергии. Полученные результаты и выводы могут использоваться при планировании и обеспечении надежности автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии на заводах по производству СПГ.

Ключевые слова: Автоматизация, расчет надежности, автоматизированная система контроля и учета электроэнергии, сжиженный природный газ, переходный процесс, интенсивность отказов

DESIGN CALCULATION OF RELIABILITY OF THE AUTOMATED SYSTEM OF CONTROL AND ACCOUNTING OF ELECTRIC POWER OF THE PLANT FOR THE PRODUCTION OF LIQUEFIED NATURAL GAS

Alpatov D.A.

Samara State Technical University, Samara, e-mail: alpatovdenis@inbox.ru

Automation of technological processes is one of the key areas of development of the modern industry. It allows to increase productivity, quality and reliability of production processes, as well as reduce production costs. However, to ensure the reliability and safety of such systems, it is necessary to carry out a design calculation that takes into account the risks and possible failures. This article is devoted to the design calculation of the reliability of the automated electric power control and metering system (ASKU ER) at a liquefied natural gas (LNG) production plant. The analysis and evaluation of technical and software solutions is carried out to determine the degree of reliability of the current system. The main attention is paid to the transient process of the failure rate of the system depending on the operating time. The system is being upgraded by introducing more reliable and fault-tolerant equipment. Thus, the required level of reliability of the object under study is achieved, which is extremely important, since stable operation of the system will lead to increased efficiency, ease of use and optimization of electricity. The obtained results and conclusions can be used in planning and ensuring the reliability of an automated system for monitoring and metering electricity at LNG plants.

Keywords: Automation, reliability calculation, automated control system and electricity metering, liquefied natural gas, transient, failure rate

В состав производства может входить множество различных систем управления. Одной из таких является автоматизированная система учета и контроля электроэнергии. Автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии являются неотъемлемой частью современных производственных предприятий. Они позволяют эффективно контролировать и управлять энергопотреблением, что в свою очередь способствует снижению затрат на энергоресурсы и повышению экономической эффективности производства. Однако, для обе-

спечения надежной работы автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии необходимо проводить проектный расчет надежности системы.

Проектный расчет надежности автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии завода СПГ является важным этапом проектирования системы. Он позволяет определить вероятность отказа компонентов системы, оценить надежность системы в целом и разработать меры по улучшению ее надежности. Это является особенно актуальным для сложных систем,

состоящих из большого числа элементов и имеющих обширные внутренние и внешние связи [1].

Целью данного исследования является проектный расчет надежности автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии на заводе по производству сжиженного природного газа (СПГ). Исследование осуществлено с целью оценки технических и программных решений, а также предложения оптимальных мер для повышения надежности системы и обеспечения эффективной работы завода.

Материалы и методы исследования

АСКУ ЭР СПГ 3 линии представляет собой многоуровневую систему, построенную на основе использования современных информационных технологий и программно-технических средств.

Система построена по иерархическому принципу и включает следующие уровни:

- нижний – уровень контрольно-измерительных приборов (КИП) и управляющих устройств.
- средний – уровень информационно-вычислительного комплекса энергоустановки (ИВКЭ);
- верхний – уровень информационно-вычислительного комплекса (ИВК).

Изобразим структурную схему, описывающую основные взаимосвязи между компонентами системы (рис. 1).

Средства измерений энергоресурсов и первичного сбора учетной информации уровня информационно-измерительного комплекса (ИИК) располагаются непосредственно на технологическом оборудовании или в аппаратных соответствующих позиций.

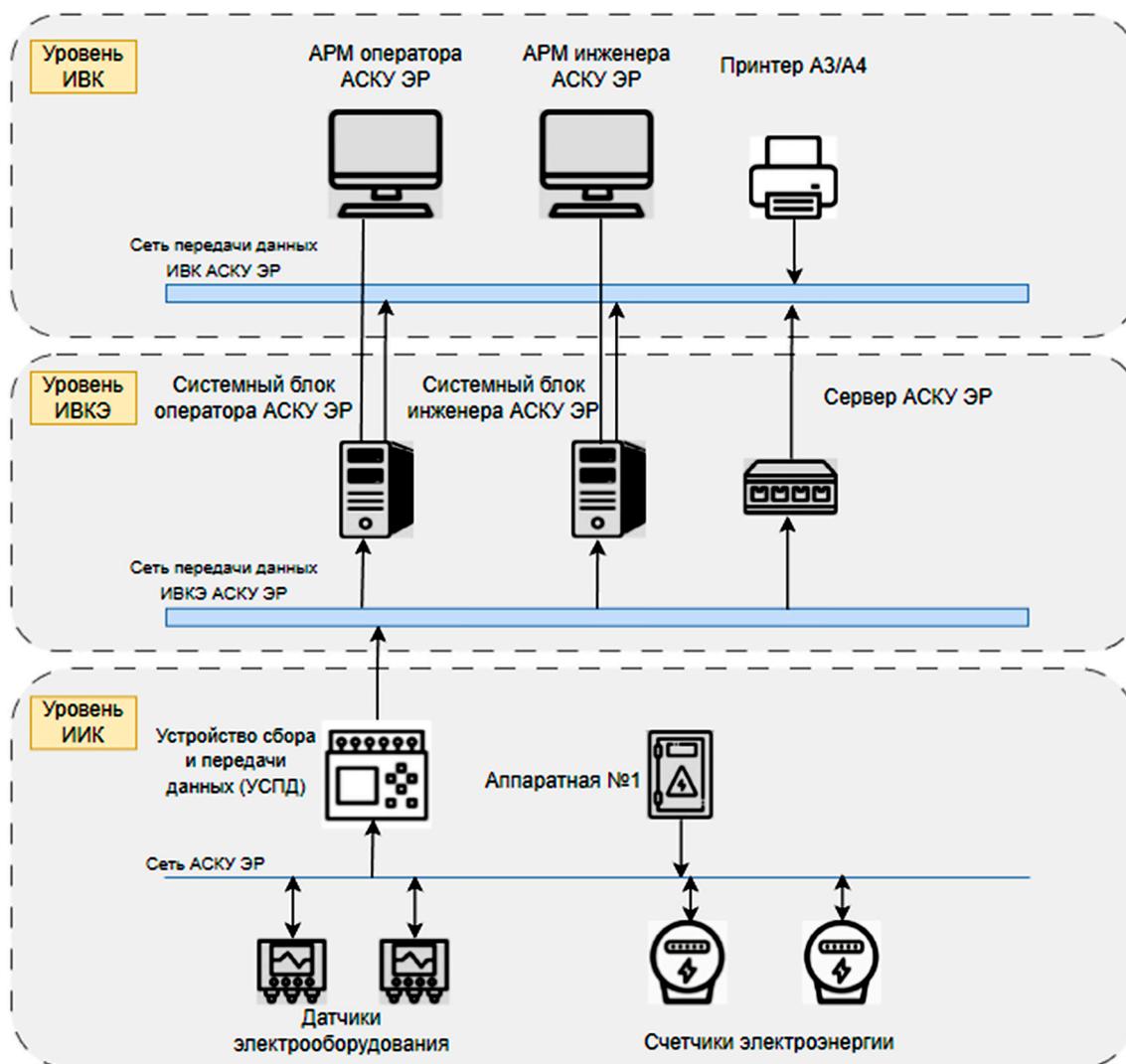


Рис. 1. Структурная схема системы АСКУ ЭР

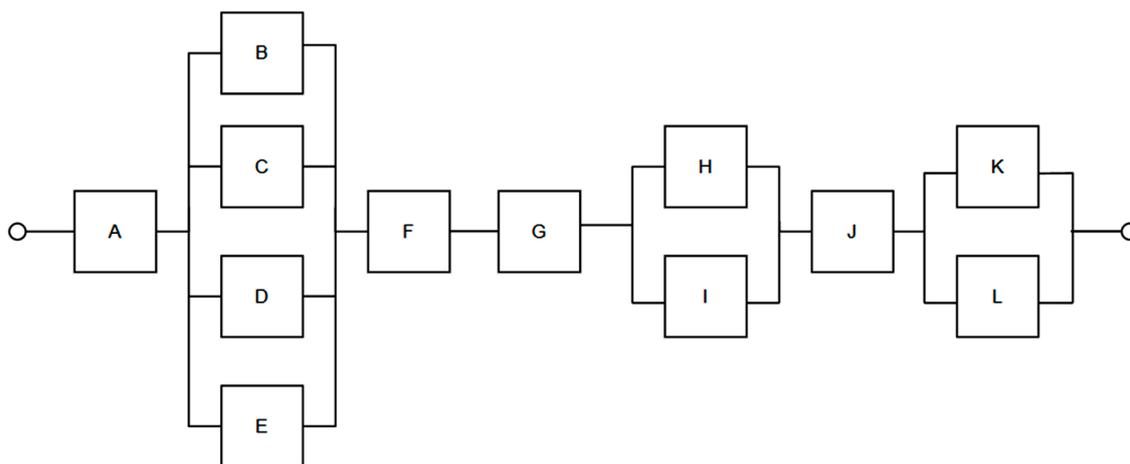


Рис. 2. Логическая схема расчета надежности АСКУ ЭР: А – аппаратная с электроустановками; В, С – датчики электрооборудования; D, E – счетчики электроэнергии; F – УСПД; G – сеть передачи данных ИВКЭ; H – системный блок оператора АСКУ ЭР; I – системный блок инженера АСКУ ЭР; J – сеть передачи данных ИВК; K – АРМ оператора АСКУ ЭР; L – АРМ инженера АСКУ ЭР

Таблица 1

Параметры интенсивности отказов элементов АСКУ ЭР

Элемент АСКУ ЭР	Интенсивность отказов
Аппаратная с электроустановками	$\lambda_a := 2,08 * 10^{-6}$
Датчики электрооборудования/электроэнергии	$\lambda_{b,c,d,e} := 5 * 10^{-6}$
УСПД	$\lambda_f := 1 * 10^{-5}$
Сеть передачи данных ИВКЭ	$\lambda_g := 3,88 * 10^{-7}$
Системный блок оператора АСКУ ЭР	$\lambda_h := 5 * 10^{-5}$
Системный блок инженера АСКУ ЭР	$\lambda_i := 5 * 10^{-5}$
Сеть передачи данных ИВК	$\lambda_j := 4 * 10^{-7}$
АРМ оператора АСКУ ЭР	$\lambda_k := 1,4 * 10^{-5}$
АРМ инженера АСКУ ЭР	$\lambda_l := 1,4 * 10^{-5}$

Для расчета системы в целом, необходимо рассчитать надежность всех элементов системы в отдельности. Особое внимание стоит учесть и условия, в которых производится работа системы, поскольку в тех или иных условиях система может работать иначе [2].

Логическая схема для расчета надежности представлена ниже (рис. 2).

Параметры наработки на отказ для отдельных элементов принимаются исходя из официальных источников поставщика оборудования, при этом к ним предъявляются

максимально высокие требования к надежности [3]. Рассмотрим таблицу 1.

При этом, примем следующие допущения при построении математической модели надежности системы:

- 1) элементы АСКУ ЭР прошли период приработки и отказы элементов независимы;
- 2) справедлив экспоненциальный закон распределения;

Согласно приведенной схеме, вероятность безотказной работы системы будет выражаться формулой:

$$P(t) := \exp^{-\lambda_d t} * \left[1 - \left(1 - \exp^{-\lambda_b \lambda_c \lambda_d \lambda_e t} \right) \right] * \exp^{-(\lambda_f + \lambda_g) t} * \left[1 - \left(1 - \exp^{-\lambda_h \lambda_i t} \right) \right] * \exp^{-\lambda_j t} * \left[1 - \left(1 - \exp^{-(\lambda_k + \lambda_l) t} \right) \right]$$

```

1   close
2   clear
3   clc
4   a = 2.08 * 10^-6;
5   b = 5 * 10^-5;
6   c = b;
7   d = c;
8   e = d;
9   f = 1 * 10^-5;
10  g = 3.88 * 10^-7;
11  h = 5 * 10^-5;
12  i = 5 * 10^-5;
13  j = 4 * 10^-7;
14  k = 1.4 * 10^-5;
15  l = 1.4 * 10^-5;
16  t = [0:200:10^4];
17  P = exp(-a.*t).*(1-(1-exp(-b*c*d*e.*t))).*exp(-(f+g).*t).*(1-(1-exp(-h*i.*t))).*exp(-j.*t).*(1-(1-exp(-(k+l).*t)));
18  Pdif = diff(P);
19  Pdif = [0, Pdif];
20  L = -Pdif./P;
21  plot(t,L);
22  grid on;
23
24

```

Рис. 3. Программный код для построения переходного процесса интенсивности отказов

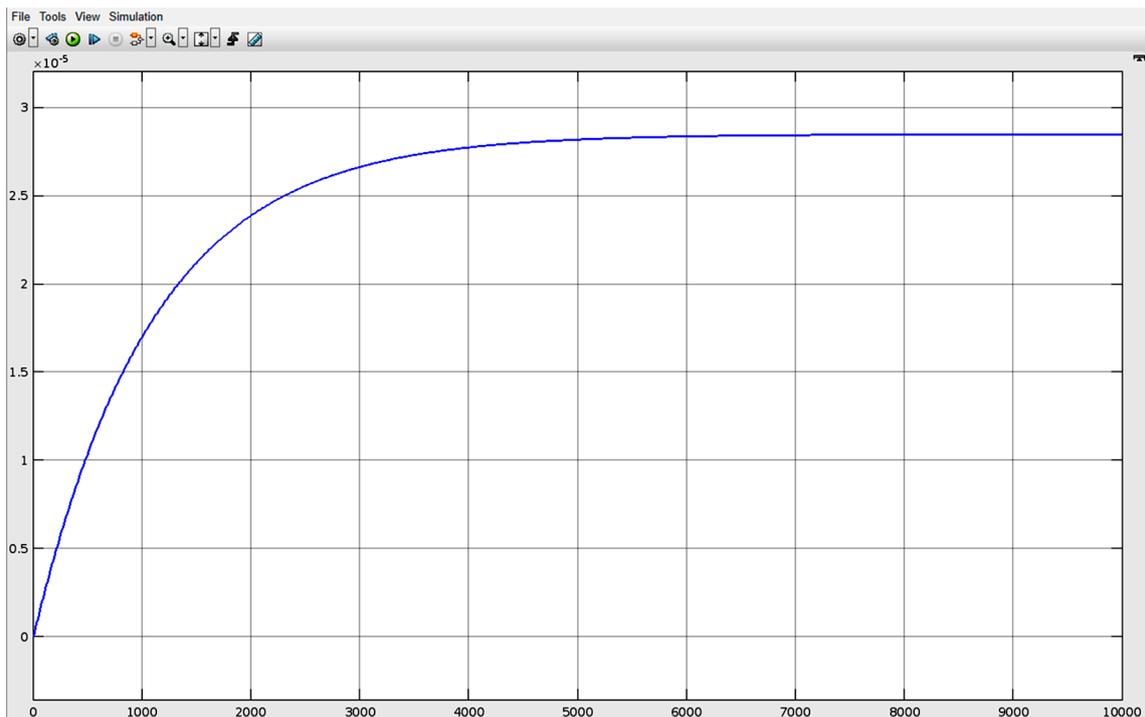


Рис. 4. График интенсивности отказов АСКУ ЭР

Определим интенсивность отказов данной системы по формуле [4]:

$$\lambda(t) := \frac{-P'(t)}{P(t)}$$

Построим график с помощью программного пакета Matlab (рис. 3, 4).

Как видно, переходный процесс интенсивности отказов к 6000 часам наработки переходит в установившееся значение, равное примерно $2.8 \cdot 10^{-5}$, что соответствует не менее 35000 часам средней наработки на отказ.

Рассмотрим существующие пути повышения надежности для автоматизированных систем управления.

1) Резервирование. Используются резервные компоненты и системы, чтобы обеспечить непрерывную работу системы даже при отказе основных элементов.

2) Мониторинг и обнаружение отказов. Реализуются системы мониторинга, которые постоянно отслеживают работоспособность системы и могут автоматически обнаруживать отказы или неисправности.

3) Резервное копирование данных. Обеспечивается возможность автоматической синхронизации баз данных, чтобы восстановить систему в случае сбоя или потери информации [5].

4) Обновления компонентов системы и установка нового ПО. Производится замена старого оборудования на новое; регулярно выпускаются и устанавливаются исправления и обновления для операционной системы, программного обеспечения и ап-

паратных средств, чтобы исправить известные уязвимости и проблемы.

5) Обучение и поддержка пользователей. Сотрудникам обеспечивается достаточное обучение и поддержка для пользователей системы для минимизации возможных ошибок и проблем, вызванных неправильным использованием.

Повышение характеристик по надежности системы осуществим путём приобретения обновленного, более совершенного по отказоустойчивости оборудования.

Обновление оборудования обеспечивает фирма-поставщик «СИКОН», которая обновила свой каталог приборов 22 июля 2022 года. Замена распространяется на: датчики электрооборудования, счетчики электроэнергии и устройства сбора и передачи данных.

Ниже представлены сравнительные данные нового оборудования (таблица 2).

Таблица 2

Сравнительные данные по средней наработке на отказ старого и нового оборудования

Назначение прибора	Старое оборудование		Новое оборудование	
	Название	Средняя наработка на отказ, ч	Название	Средняя наработка на отказ, ч
Датчики электрооборудования	ST2000-10	200000	КВАНТ ST2000-12	320000
Счетчики электроэнергии	ST1000-7	200000	КВАНТ ST1000-9	320000
Устройства сбора и передачи данных	Контроллер С10	100000	Контроллер С110	125000

```

untitled.m x +
/MATLAB Drive/Published/untitled.m
1 close
2 clear
3 clc
4 a = 2.08 * 10^-6;
5 b = 5 * 10^-5;
6 c = b;
7 d = c;
8 e = d;
9 b2 = 3.125*10^-6;
10 c2 = b2;
11 d2 = c2;
12 e2 = d2;
13 f = 1 * 10^-5;
14 f2 = 0.8 * 10^-6;
15 g = 3.88 * 10^-7;
16 h = 5 * 10^-5;
17 i = 5 * 10^-5;
18 j = 4 * 10^-7;
19 k = 1.4 * 10^-5;
20 l = 1.4 * 10^-5;
21 t = 0:200:10^4;
22 P = exp(-a.*t).*(1-(1-exp(-b*c*d*e.*t))).*exp(-(f+g).*t).*(1-(1-exp(-h*i.*t))).*exp(-j.*t).*(1-(1-exp(-(k+1).*t)));
23 Pdif = diff(P);
24 Pdif = [0, Pdif];
25 L = -Pdif./P;
26 P2 = exp(-a.*t).*(1-(1-exp(-b2*c2*d2*e2.*t))).*exp(-(f2+g).*t).*(1-(1-exp(-h*i.*t))).*exp(-j.*t).*(1-(1-exp(-(k+1).*t)));
27 Pdif2 = diff(P2);
28 Pdif2 = [0, Pdif2];
29
30 plot(t,L);
31 grid on;
32 hold on;
33 L2 = -Pdif2./P2;
34 plot(t,L2);
35 hold off
36

```

Рис. 5. Обновленный программный код для построения переходного процесса интенсивности отказов

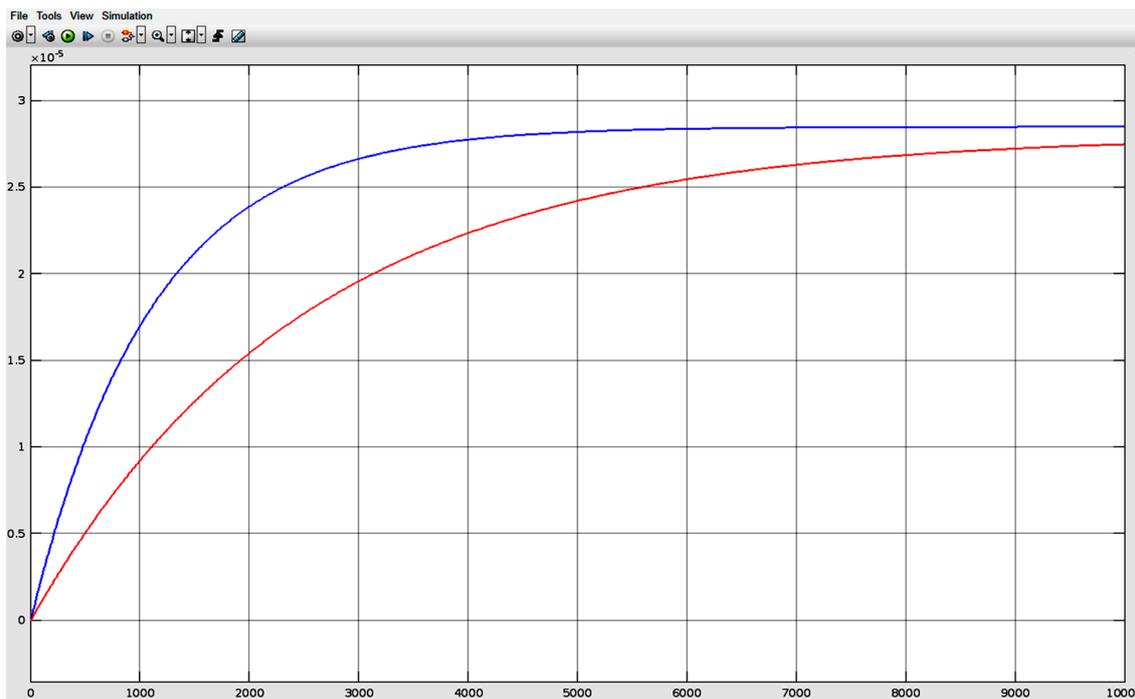


Рис. 6. Графики интенсивности отказов АСКУ ЭР с обновленным оборудованием

Высчитаем параметр интенсивности отказов для данного оборудования и внесем изменения в код программы для построения необходимого графика по формуле безотказной работы, описанной выше (рис. 5).

Переменные с индексом «2» являются характеристиками нового оборудования. Запустив программу, получим следующие графики (рис. 6).

Результаты исследования и их обсуждение

Корректная и точная оценка надежности на этапе проектирования способствует минимизации возможных сбоев и снижению рисков эксплуатации. В ходе анализа и оценки технических и программных решений, было получено, что переходный процесс интенсивности отказов к 6000 часам наработки переходит в установившееся значение, равное примерно $2.55 \cdot 10^{-5}$, что соответствует не менее 39000 часам средней наработки на отказ. В результате, разработка надежной АСКУ ЭР на заводе СПГ повышает эффективность работы, обеспечивает удобство использования и способствует оптимизации энергопотребления.

Заключение

Проектный расчет надежности АСКУ ЭР представляет собой важный этап, обеспечивающий эффективность и надежность

работы всего предприятия. Производя обновление старого оборудования, мы получили ощутимый выигрыш по надежности системы, который подтверждается расчетными данными и полученными графиками безотказной работы системы.

Список литературы

1. Алейников Д.В. Разработка автоматизированной системы расчета надежности в моделях систем электропитания: Материалы IX Международной молодежной научно-практической конференции с элементами научной школы «Прикладная математика и фундаментальная информатика». Омск: Омский государственный технический университет, 2019. С. 85-88.
2. Касимов С.А. Моделирование автоматизированной системы сбора данных интеллектуального мониторинга контроля точности изготовления распределительных валов на основе расчета надежности // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 7-1(18-1). С. 457-460. DOI: 10.12737/14904.
3. Муконин А.К., Медведев В.А., Трубецкой В.А., Тонн Д.А., Горемыкин С.А., Ситников Н.В. Повышение надежности Систем автоматического управления технологическими процессами // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2020. Т. 16, № 4. С. 56-63. DOI: 10.25987/VSTU.2020.16.4.007.
4. Баранов Л.А., Ермолин Ю.А. Надежность систем с периодической кусочно-постоянной интенсивностью отказов // Электротехника. 2017. № 9. С. 60-63.
5. Алексеев Е.Б., Бурдин В.А., Климов Д.А. К вопросу об эффективности применения системы мониторинга оптических кабелей на транспортных сетях операторов связи // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. Т. 7, № 8. С. 13-16.