

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ

Розроблена та досліджена модель кількісної оцінки надійності програмно-технічних комплексів автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП), побудованих на основі програмованих логічних контролерів (ПЛК). Практичне використання моделі проілюстровано на прикладі оцінки розробленого програмно-технічного комплексу газоочисток Тихвинського ферросплавного заводу.

I. Введение

Современный этап развития промышленного производства характеризуется повсеместным внедрением АСУТП, построенных на основе ПЛК [1,2]. Неотъемлемой частью любой АСУТП является программно-технический комплекс (ПТК), включающий в себя средства управления процессом и средства визуализации. Количественная оценка надежности таких комплексов является достаточно актуальной проблемой [3], что обусловлено ростом потребностей практики в увеличении уровня надежности и безопасности, повышением сложности современных АСУТП и недостаточной информацией о безотказности их компонент.

Существующие методики оценки надежности [4] не учитывают специфику ПТК АСУТП на основе ПЛК. Целью данной работы является разработка модели, позволяющей произвести количественную оценку надежности программно-технических комплексов АСУТП на основе ПЛК.

II. Пример ПТК АСУТП на основе ПЛК

В качестве примера рассмотрим ПТК АСУТП газоочисток №2,3 Тихвинского ферросплавного завода (рис. 1).

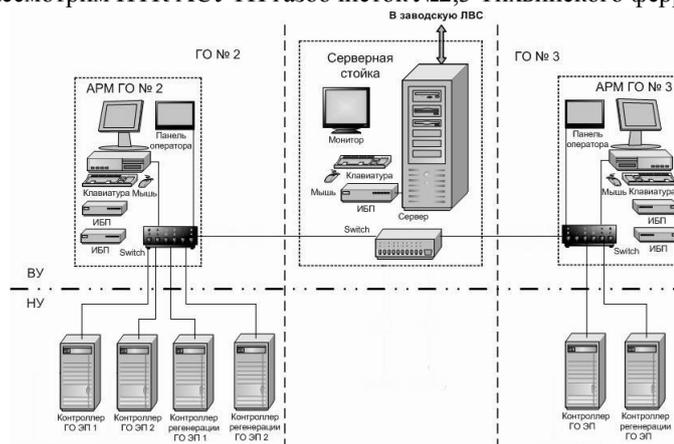


Рис. 1 – Схема программно-технического комплекса АСУТП газоочисток №2,3 Тихвинского ферросплавного завода

Данный ПТК имеет двухуровневую структуру. Нижний уровень (НУ) – уровень управления – представлен ПЛК TSX Premium фирмы Schneider Electric. Верхний уровень (ВУ) – уровень визуализации – дублирован с целью повышения надежности и представлен автоматизированными рабочими местами (АРМ) и панелями оператора.

Таким образом, данный ПТК имеет резервированные участки, при этом основной и резервный элементы участков имеют различные интенсивности отказов.

Представим типовой ПТК АСУТП на основе ПЛК в виде подмножества дублированных элементов количеством d и подмножества нерезервированных элементов количеством n (рис. 2) и построим модель надежности.

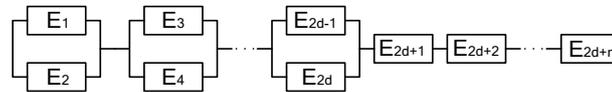


Рис. 2 – Структурная схема надежности типового ПТК АСУТП на основе ПЛК

III. Модель надежности

Определим допущения для расчета надежности ПТК АСУТП на основе ПЛК:

- 1) интенсивность отказов ПТК АСУТП постоянна на основном этапе эксплуатации системы;
- 2) экспоненциальное распределение времени восстановления;
- 3) вероятность отказа каждого элемента системы не зависит от вероятности отказа других элементов;
- 4) надежность средств и достоверность метода контроля идеальны;
- 5) для восстановления (ремонта) системы используется один ремонтный орган;
- 6) приоритет при проведении восстановительных работ отдается элементам, восстановление которых позволит перевести систему в работоспособное состояние;
- 7) ремонтные работы начинаются сразу после обнаружения отказа.

Допустимость экспоненциального распределения для описания процесса восстановления при независимых отказах позволяет представить анализируемые системы в виде марковских процессов.

Построим модель системы, которая содержит один резервированный участок и n нерезервированных элементов. Структурная схема надежности такой системы представлена на рис. 3.

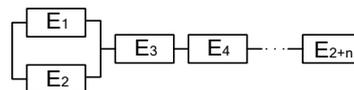


Рис. 3 – Структурная схема надежности системы с одним резервированным участком

Опишем возможные состояния системы:

- S_0 – все элементы ПТК АСУТП работоспособны;
- S_1 – отказал первый элемент резервированного участка, система работоспособна;
- S_2 – отказал второй элемент резервированного участка, система работоспособна;
- S_3 – отказали оба элемента резервированного участка, система неработоспособна;
- S_4 – отказал любой из нерезервированных элементов, система неработоспособна;
- S_5 – отказал первый элемент резервированного участка и любой из нерезервированных элементов, система неработоспособна;
- S_6 – отказал второй элемент резервированного участка и любой из нерезервированных элементов, система неработоспособна.

На рис. 4 представлен граф состояний данной системы. Состояния, в которых система неработоспособна, помечены штриховкой.

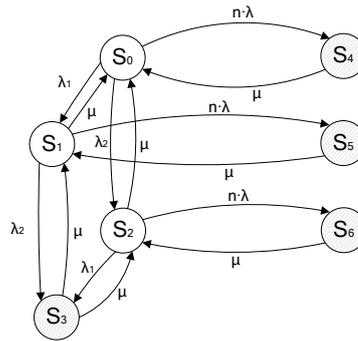


Рис. 4 – Граф состояний системы

Составив и решив систему уравнений Колмогорова для стационарного режима, определим вероятность нахождения системы в работоспособных состояниях – установившееся значение коэффициента готовности:

$$P_{\text{раб}} = P_0 + P_1 + P_2 = \frac{\mu^2 + \mu \cdot \lambda_2 + \mu \cdot \lambda_1}{\mu^2 + \mu \cdot \lambda_2 + \mu \cdot \lambda_1 + \mu \cdot n \cdot \lambda + \lambda_1 \cdot \lambda_2 + \lambda_2 \cdot n \cdot \lambda + \lambda_1 \cdot n \cdot \lambda} \quad (1)$$

Таким образом, для системы с одним резервированным участком получено достаточно простая формула расчета вероятности нахождения системы в работоспособном состоянии. В случаях, когда АСУТП содержат множество резервированных участков, графы состояний и, соответственно, построенные на их основе системы уравнений, получаются достаточно громоздкими, и их решение возможно только с помощью специальных программных средств (например, MathCad).

IV. Практическое применение

Произведем расчет надежности ПТК АСУТП газоочистки №2 с использованием построенной модели. На рис. 5 представлена структурная схема надежности подсистемы газоочистки №2.

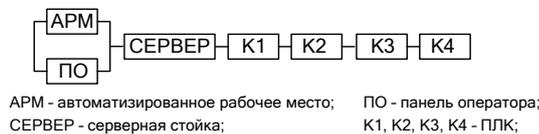


Рис. 5 – Структурная схема надежности подсистемы газоочистки №2

Средние наработки между отказами (MTBF) элементов системы взяты из документации производителей [5] и приведены в табл. 1.

Таблица 1

MTBF элементов ПТК АСУТП

Элемент		MTBF, ч	$\lambda, 1/ч$
ПЛК	TSXP572634M	718576	$1.3916 \cdot 10^{-6}$
АРМ	Advantech	50000	$2.0 \cdot 10^{-5}$
СЕРВЕР	APC	246000	$4.065 \cdot 10^{-6}$
Панель оператора	Magelis XBTGT6330	80000	$1.25 \cdot 10^{-5}$

Определим интенсивность отказов нерезервированных элементов системы как сумму интенсивностей отказов этих элементов: $\lambda_{\text{нерез}} = 4\lambda_{\text{плк}} + \lambda_{\text{сервер}}$. Интенсивность отказов ПО обозначим $\lambda_{\text{по}}$, интенсивность отказов АРМ – $\lambda_{\text{арм}}$, интенсивность восстановления любого элемента – μ . Примем время восстановления любого элемента системы равным 1 час. Таким образом, $\mu = 1/ч$.

По формуле (1) определим вероятность нахождения АСУТП в работоспособном состоянии:

$$P_{\text{раб}} = \frac{\mu^2 + \mu \cdot \lambda_{\text{арм}} + \mu \cdot \lambda_{\text{по}}}{\mu^2 + \mu \cdot \lambda_{\text{арм}} + \mu \cdot \lambda_{\text{по}} + \mu \cdot \lambda_{\text{перез}} + \lambda_{\text{по}} \cdot \lambda_{\text{арм}} + \lambda_{\text{арм}} \cdot \lambda_{\text{перез}} + \lambda_{\text{по}} \cdot \lambda_{\text{перез}}} = 0.9999903$$

Так как конфигурация системы, как правило, строго оговаривается, то добиться изменения данной характеристики можно лишь изменением интенсивности восстановления системы. Построим график зависимости $P_{\text{раб}} = f(\mu)$, $\mu \in [0.1..25.0]$ (рис.6).

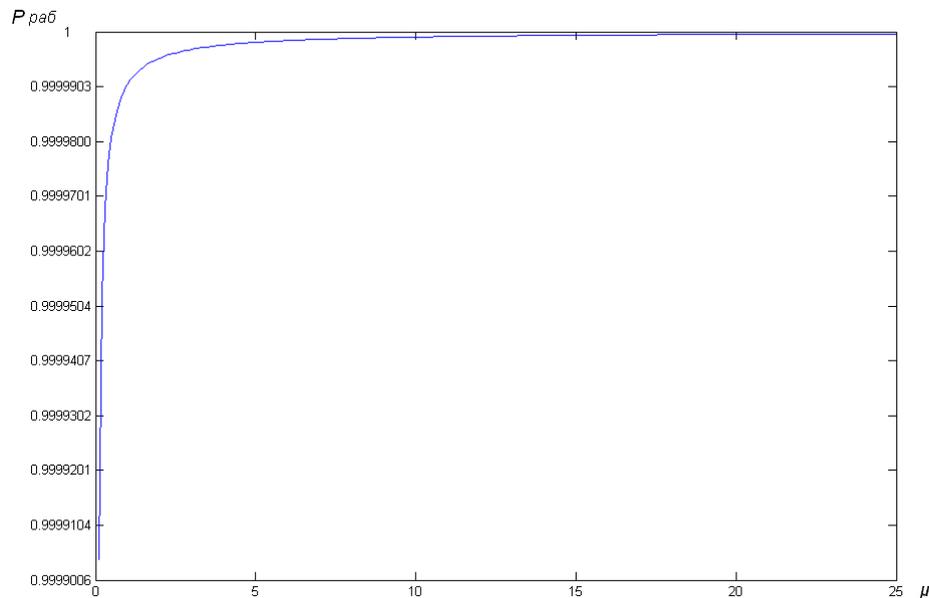


Рис. 6 – Зависимость вероятности нахождения системы в работоспособном состоянии от времени восстановления

Из рис. 6 видно, что правильно подобрав допустимое время ремонта системы, можно обеспечить требуемый коэффициент готовности.

V. Выводы

Методика количественной оценки надежности с применением предложенной модели позволяет рассчитать коэффициент готовности и обосновать выбор необходимых элементов ПТК АСУТП на этапе проектирования.

Исследована зависимость коэффициента готовности от длительности ремонтных работ. Произведен расчет коэффициента готовности реального ПТК с применением построенной модели.

Направлением дальнейших исследований может быть разработка моделей, учитывающих надежность программного обеспечения.

Литература

- [1] Programmable controllers: theory and implementation/L.A. Bryan, E.A. Bryan.—2nd ed. (<http://industrialtext.com>)
- [2] Hugh Jack. Automating Manufacturing Systems with PLCs (<http://claymore.engineer.gvsu.edu/~jackh/books.html>)
- [3] Mike Scott, Bud Adler. How to Select a Safety PLC. (<http://www.isa.org/>)
- [4] Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – К.: Логос, 2002.
- [5] MTBF of PREMIUM CPU (L3 and Unity V1) (EN) (http://www.modicon.com/nRepository/index.nsf/aa_getdocs?OpenAgent&prod=premiumfaq)