

Проектный расчет надежности системы автоматического регулирования расхода деаэрированного сырья установки СОМ

Юков М.С., Астапов В.Н.

Самарский государственный технический университет
Самара, Россия (443100, Самара ул. Молодогвардейская, 244),
e-mail: jukov-mikhail@rambler.ru, asta-2009@mail.ru.

Аннотация

В данной работе рассматривается проектный расчёт надёжности системы автоматического регулирования расхода деаэрированного сырья на установке СОМ.

Актуальность темы обусловлена необходимостью обеспечения стабильной и эффективной работы технологических процессов в различных отраслях промышленности. Расчёт надёжности позволяет определить вероятность безотказной работы системы, а также выявить слабые места и разработать меры по повышению надёжности.

Целью работы является разработка методики расчёта надёжности для системы автоматического регулирования расхода деаэрированного сырья. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи: изучить теоретические основы надёжности систем автоматического регулирования, провести анализ существующих методов расчёта надёжности, разработать методику расчёта надёжности для конкретной системы.

Результаты работы могут быть использованы при проектировании и эксплуатации систем автоматического регулирования расхода деаэрированного сырья на установках СОМ. Это позволит повысить эффективность производственных процессов, обеспечить стабильность работы оборудования и снизить риск возникновения аварийных ситуаций.

В ходе исследования будут рассмотрены основные параметры, влияющие на надёжность системы автоматического регулирования, такие как вероятность безотказной работы и интенсивность отказов. Будут изучены методы расчёта надёжности, основанные на статистических данных, аналитических моделях и методах компьютерного моделирования.

Ключевые слова:

Система автоматического регулирования, надёжность системы, установка СОМ, деаэрированное сырьё, автоматизация.

Annotation

This paper considers the design calculation of the reliability of the automatic control system for the flow of deaerated raw materials at the SOM plant.

The relevance of the topic is due to the need to ensure stable and efficient operation of technological processes in various industries. Reliability calculation allows you to determine the probability of failure-free operation of the system, as well as identify weak points and develop measures to improve reliability.

The purpose of the work is to develop a reliability calculation methodology for the automatic control system for the flow of deaerated raw materials. To achieve this goal, the following tasks were set: to study the theoretical foundations of the reliability of automatic control systems, to analyze existing reliability calculation methods, to develop a reliability calculation methodology for a specific system.

The results of the work can be used in the design and operation of automatic control systems for the flow of deaerated raw materials at SOM plants. This will increase the efficiency of production processes, ensure stable equipment operation and reduce the risk of emergency situations.

The study will consider the main parameters affecting the reliability of the automatic control system, such as the probability of failure-free operation and failure rate. Methods of reliability calculation based on statistical data, analytical models and computer simulation methods will be studied.

Keywords:

Automatic control system, system reliability, SOM installation, deaerated raw materials, automation.

ВВЕДЕНИЕ

Сырье для производства смазочных масел подвергается экстрагированию растворителем с целью избирательного удаления компонентов, обладающих плохими смазочными свойствами и низкой устойчивостью к окислению, что позволяет повысить коэффициент вязкости и качество базовых компонентов смазочных масел. Как правило, удалению подлежат те химические соединения, в структуре которых присутствуют ароматические кольца. У соединений с двумя и более конденсированными ароматическими кольцами ухудшается устойчивость к окислению, уменьшается прочность пленки, а также появляются прочие нежелательные свойства.

Процесс селективной очистки масляных фракций основан на различной плотности нефтяного сырья и растворителя, а также и на различной растворимости углеводородных соединений сырья в растворителе, благодаря чему их можно отделить друг от друга.

Для обеспечения надёжной работы систем автоматического регулирования необходимо провести проектный расчёт надёжности системы. Это позволит определить показатели надёжности, такие как вероятность безотказной работы, интенсивность отказов и среднее время до отказа, а также выявить наиболее уязвимые элементы системы [1, 2].

1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Из сырьевого парка сырье поступает на насосы P-101AR/BR и прокачивается через фильтры G-101A/B. Отфильтрованное сырье направляется в корпуса кожухотрубчатых теплообменников E-102R/1,2, где нагревается до температуры $99\div 104$ °C сырьем, выходящим из деаэрата V-101. Далее сырье направляется в корпус подогревателя E-103, где нагревается до температуры 116 °C в результате теплообмена с экстрактом, откачиваемым из отпарной колонны V-107. Нагретое сырье поступает на верхнюю тарелку деаэрата V-101.

Деаэратор предназначен для удаления из сырья воздуха, так как при контакте растворителя с воздухом происходит окисление N-метилпирролидона, ухудшение его свойств и образование коррозионно-агрессивных побочных продуктов

Пары с верха деаэрата V-101, в основном состоящие из водяного пара и воздуха, с температурой 116 °C поступают в конденсатор E-101. Далее конденсат с допустимым содержанием растворителя (не более 0,0005 % масс.) направляется в промканализацию, а воздух сбрасывается в атмосферу.

Деаэрированное сырье с низа деаэрата V-101 забирается насосом P-102AR/BR, прокачивается через трубные пространства теплообменников E-102R/1,2, где отдает тепло сырью, которое направлено в деаэратор, и с температурой $104\div 108$ °C поступает в струйный смеситель С-1. В С-1 происходит смешение сырья с растворителем, охлажденным до $52\div 75$ °C в холодильнике E-104А.

В экстракционную колонну сырье вводится через маточники. Более тяжелое сырье подается через нижний ввод. Оба ввода одновременно не применяются.

Ввиду своей исключительной растворяющей способности N-метилпирролидон удаляет не только ароматические углеводороды с низким индексом вязкости, но и некоторые ценные компоненты масляных фракций.

Экстрактный раствор поступает в отстойник V-118, где имеется возможность отделения более легкого продукта, называемого псевдоррафинатом, который может направляться обратно в колонну V-102 под третий насадочный слой. Таким образом, в экстракционной колонне создается внутреннее орошение, которое способствует улучшению работы экстракционной колонны и увеличению выхода рафината на 2-5%.

2 РАСЧЁТ НАДЁЖНОСТИ

Для расчёта надёжности выберем контур регулирования расхода деаэрированного сырья клапаном поз.FV-557, установленным на линии входа сырья в C-1 (См. Рисунок 1) и рассчитаем его надёжность [3-5].

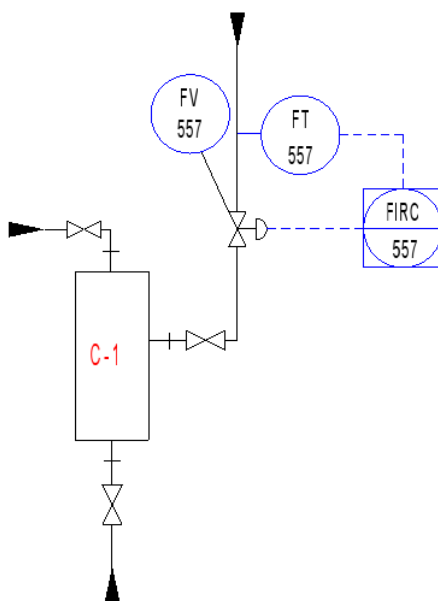


Рисунок 1 – Контур регулирования расхода деаэрированного сырья

Для этого составим логическую схему системы, представленную на Рисунке 2.

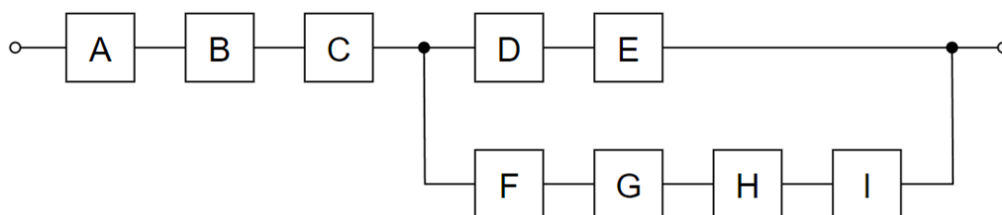


Рисунок 2 – Логическая схема системы автоматического регулирования

В схеме: А – первичный преобразователь расхода; В – линия связи 1; С – контроллер системы автоматического регулирования; D – линия связи 2; Е – механизм регулятора, F – линия связи 3; G – контроллер АСУ ТП; Н – линия связи 4; I – отсечная задвижка.

2.1 Расчёт показателей надёжности

В Таблице 1 приведены показатели интенсивности отказов элементов, входящих в состав системы.

Таблица 1 – Интенсивность отказов элементов

Элемент	Значение интенсивности отказов, ч ⁻¹
Ультразвуковой расходомер	0,7*10 ⁻⁶
Линия связи 1	3,1*10 ⁻⁶
Контроллер	0,8*10 ⁻⁶
Линия связи 2	3,1*10 ⁻⁶
Механизм регулятора	15,4*10 ⁻⁶
Линия связи 3	3,1*10 ⁻⁶
Контроллер АСУ ТП	0,61*10 ⁻⁶
Линия связи 4	3,1*10 ⁻⁶
Отсечная задвижка	8,7*10 ⁻⁶

Примем следующие допущения при построении математической модели надёжности системы:

1. Элементы прошли период приработки;
2. Справедлив экспоненциальный закон распределения;
3. Отказы элементов независимы.

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

$$P(t) = -\exp[-(\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C) * t] * [-\exp[-(\lambda_G + \lambda_H + \lambda_I) * t]] - \exp[-(\lambda_D + \lambda_E + \lambda_F) * t] + \exp[-(\lambda_D + \lambda_E + \lambda_F + \lambda_G + \lambda_H + \lambda_I) * t] \quad (1)$$

Интенсивность отказов данной системы находится по формуле:

$$\lambda(t) = \frac{-P'(t)}{P(t)} \quad (2)$$

Для вычислений воспользуемся программой «Matlab». На Рисунке 3 представлен код для вычисления интенсивности отказов и построения её графика.

```

Command Window
>> clear
t=[0:500:10^6];
A=0.7*10^-6;
B=3.1*10^-6;
C=0.8*10^-6;
D=3.1*10^-6;
E=15.4*10^-6;
F=3.1*10^-6;
G=0.61*10^-6;
H=3.1*10^-6;
I=8.7*10^-6;
P=-exp(-(A+B+C).*t).*(-exp(-(G+H+I).*t)-exp(-(D+E+F).*t)+exp(-(D+E+F+G+H+I).*t));
P1=diff(P);
P1=[0,P1];
L=-P1./P;
plot(t,L);
fx >>

```

Рисунок 3 – Код вычислений в программе Matlab

На Рисунке 4 представлен график интенсивности отказов системы во времени.

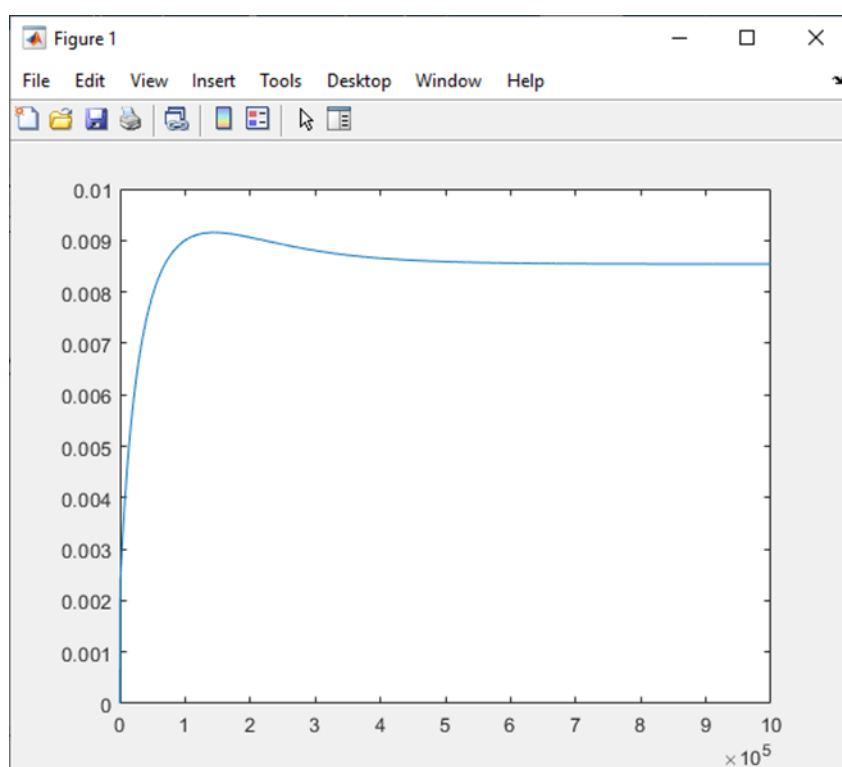


Рисунок 4 – График интенсивности отказов системы во времени

2.2 Повышение надежности системы

К способам повышения надежности систем относят:

1. Увеличение надежности отдельных элементов (замена приборов, линий связи, а также использование устройств с более высокими характеристиками надежности);
2. Упрощение системы при проектировании;
3. Резервирование элементов системы;
4. Систематический контроль и обслуживание системы.

Для рассматриваемой системы введем резервирование каждого элемента системы. Схема системы с резервированием приведена на Рисунке 3.

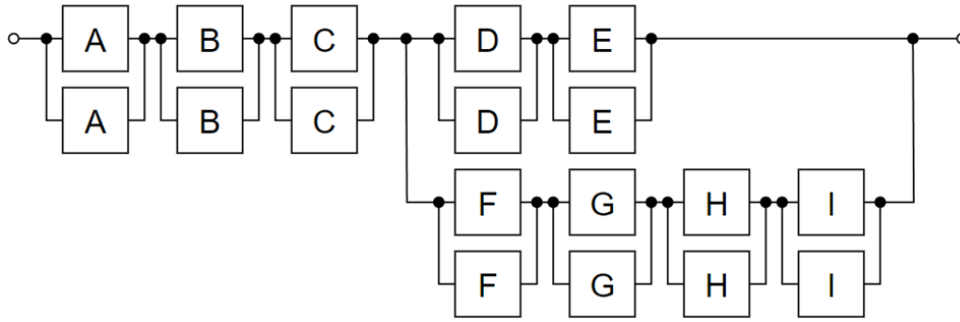


Рисунок 3 – Логическая схема системы с резервированием

Вероятность безотказной работы на каждом из участков будет равна:

$$P_{i\text{Res}}(t) = 1 - [(1 - \exp(-\lambda_i * t))^2], \quad (3)$$

где i – соответствующий участок.

Тогда вероятность безотказной работы зарезервированной системы будет находиться по формуле:

$$P_{\text{Res}}(t) = P_{A\text{Res}}(t) * P_{B\text{Res}}(t) * P_{C\text{Res}}(t) * [1 - (1 - P_{D\text{Res}}(t) * P_{E\text{Res}}(t) * P_{F\text{Res}}(t)) * (1 - P_{G\text{Res}}(t) * P_{H\text{Res}}(t) * P_{I\text{Res}}(t))]. \quad (4)$$

Интенсивность отказов данной системы находится по формуле:

$$\lambda_1(t) = \frac{-P_{\text{res}}'(t)}{P_{\text{res}}(t)}. \quad (5)$$

Код вычисления интенсивности отказов и построения её графика для системы с резервированием в программе Matlab представлен на Рисунке 5 [6-8].

```

Command Window
>> clear
t=[0:500:10^6];
A=0.7*10^-6;
B=3.1*10^-6;
C=0.8*10^-6;
D=3.1*10^-6;
E=15.4*10^-6;
F=3.1*10^-6;
G=0.61*10^-6;
H=3.1*10^-6;
I=8.7*10^-6;
P=-exp(-(A+B+C).*t).*(-exp(-(G+H+I).*t)-exp(-(D+E+F).*t)+exp(-(D+E+F+G+H+I).*t));
P1=diff(P);
P1=[0,P1];
L=-P1./P;
PAres=1-((1-exp(-A.*t)).^2);
PBres=1-((1-exp(-B.*t)).^2);
PCres=1-((1-exp(-C.*t)).^2);
PDres=1-((1-exp(-D.*t)).^2);
PEres=1-((1-exp(-E.*t)).^2);
PFres=1-((1-exp(-F.*t)).^2);
PGres=1-((1-exp(-G.*t)).^2);
PHres=1-((1-exp(-H.*t)).^2);
PIres=1-((1-exp(-I.*t)).^2);
Pres=PAres.*PBres.*PCres.*(1-(1-PDres.*PEres.*PFres).*(1-PGres.*PHres.*PIres));
Pres1=diff(Pres);
Pres1=[0,Pres1];
L1=-Pres1./Pres;
figure(1);
plot(t,L1);
hold on;
plot(t,L);
grid on;
>>

```

Рисунок 5 – Код вычисления интенсивности отказов системы с резервированием

Графики интенсивности отказов системы с резервированием и без резервирования представлены на Рисунке 4.

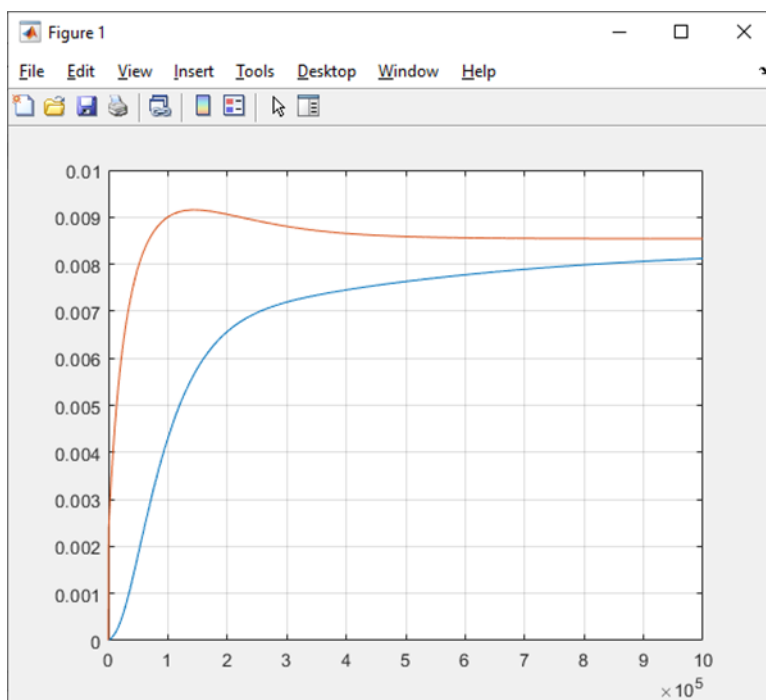


Рисунок 4 – Графики интенсивностей отказов системы с резервированием и без резервирования

Результат повышения надежности рассматриваемой системы определим как отношение интенсивности отказов системы до резервирования к интенсивности отказов системы после резервирования, результат представим в Таблице 2:

$$\sigma(t) = \frac{\lambda(t)}{\lambda_1(t)} \quad (7).$$

Таблица 2 – Отношение интенсивностей

t, 10 ⁴	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\lambda(t), 10^{-4}$	0,009	0,009	0,0088	0,0086	0,0085	0,0085	0,0085	0,0085	0,0085	0,0085
$\lambda_1(t), 10^{-4}$	0,0043	0,0065	0,0071	0,0074	0,0076	0,0077	0,0078	0,0079	0,008	0,0081
$\sigma(t)$	2,09	1,38	1,24	1,16	1,12	1,10	1,09	1,08	1,06	1,05

Таким образом, из данных Таблицы 2 видно, что резервирование системы позволяет снизить интенсивность отказов в начале эксплуатации в 2 раза, сохраняя срок службы системы до конца срока эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы был проведён проектный расчёт надёжности системы автоматического регулирования расхода деаэрированного сырья установки СОМ. Были определены показатели надёжности, такие как вероятность безотказной работы, интенсивность отказов для нерезервированной и резервированной системы.

Результаты расчёта позволили выявить наиболее уязвимые элементы системы и разработать рекомендации по повышению её надёжности. Это включает в себя использование более надёжных компонентов, резервирование критически важных элементов и проведение регулярного технического обслуживания.

Таким образом, проектный расчёт надёжности является важным инструментом для обеспечения стабильной и эффективной работы системы автоматического регулирования расхода деаэрированного сырья. Внедрение предложенных мер позволит повысить надёжность системы и снизить риск возникновения аварийных ситуаций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 27.301-95. Надёжность в технике. Расчет надёжности. Основные положения [Текст]. – Введ. 1997–01–01.;
2. А.Г. Щипицын Элементы прикладной теории надёжности: учебное пособие / А.Г. Щипицын, А.А. Кощев, Е.А. Алёшин и др. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. - 114 с.;
3. Иванов, С. И. Основы теории и расчета показателей надёжности [Текст] / С. И. Иванов. – Комсомольск-на-Амуре: КНАГТУ, 2000. – 54 с.;
4. Калявин, В. П. Основы теории надёжности и диагностики [Текст] / В. П. Калявин. – СПб.: Элмор, 1998. – 178 с.;
5. ГОСТ 27.203-83. Надёжность в технике. Технологические системы. Общие требования к методам оценки надёжности [Текст]. – Введ. 1984–07–01.
6. Глазунов, Л. Л. Основы теории надёжности автоматических систем управления [Текст] / Л. Л. Глазунов, В. П. Грабовецкий, О. В. Щербаков. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 208 с.;
7. Дружинин, Г. В. Надёжность автоматизированных производственных систем [Текст] / Г. В. Дружинин. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.
8. ГОСТ 27.310-95. Надёжность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения [Текст]. – Введ. 1997–01–01.