

Ежемесячные отчисления на текущий и плановый ремонт, на расходные материалы составляют 10 % от итоговой стоимости оборудования, т. е. 1000 руб. ежемесячно. Таким образом, экономический эффект, определяемый ежемесячной экономией финансов, направленных на зарплату лаборанта, за вычетом денежных средств, направленных на обслуживание контроллера, составляет $15000 - 1000 = 14000$ руб.

Проведя финансово-экономический анализ проекта, выяснилось, что срок окупаемости инвестиций с учетом ставки дисконтирования 0,02 составил 4,6 мес., а индекс рентабельности 3,7. Проект по показателю рентабельности является привлекательным.

УДК 662.92

З. К. Кабаков, Ю. В. Грибова, Д. И. Габеля
Череповецкий государственный университет

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ШТАБЕЛЕЙ НА ХОЛОДНОМ СКЛАДЕ

В статье рассматриваются вопросы, связанные с математическим моделированием процесса охлаждения слябовой заготовкой на холодном складе. Приведенная оценка позволяет определить продолжительность охлаждения из слябов углеродистых сталей при постоянных условиях охлаждения в зависимости от различных геометрических параметров штабеля. Для построения этой зависимости использован полный факторный эксперимент.

Сляб, штабель, математическое моделирование, продолжительность охлаждения.

This article considers the issues related to the mathematical modeling of the slab cooling in a cold store room. This estimate allows determining the cooling time of the slabs of carbon steels at constant cooling conditions according to the different geometric parameters of the stack. The authors used a full factorial experiment to build this relationship.

Slab, stack, mathematical modeling, duration of cooling.

Введение.

Перед контролем качества поверхности непрерывно литых слябов на стеллажах они охлаждаются в штабелях. Контроль производится при температуре штабеля, не превышающей заданное значение. Продолжительность охлаждения штабелей зависит от теплофизических свойств стали, условий охлаждения, образования окалины и геометрических параметров штабеля, что затрудняет ее прогнозирование. В связи с этим необходимо знать динамику охлаждения штабеля. Эффективным инструментом исследования тепловых процессов и прогнозирования продолжительности охлаждения является математическое моделирование. В работе [1, с. 83] разработана математическая модель охлаждения штабелей непрерывно литых слябов на воздухе. В модели учитывается теплопередача внутри штабеля, наличие окалины на поверхности штабеля, теплопередача от поверхности, излучение и конвекция воздуха. Математическая модель протестирована и проверена на адекватность на основе экспериментальных данных. Модель позволяет получить большое количество информации о процессе охлаждения: температурные поля штабеля, тепловые потоки от поверхности шта-

Литература

1. Клешнин, А. Ф. Растение и свет. Теория и практика светокультуры растений / А. Ф. Клешнин. – М., 1954.
2. Кудашов, А. Теплицам нужна господдержка / А. Кудашов // Ассоциация «Теплицы России». – 2006. – №2. – С. 39–41.
3. Леман, В. М. Культура растений при электрическом свете / В. М. Леман. – М., 1971.
4. Мошков, Б. С. Выращивание растений при искусственном освещении / Б. С. Мошков. – М., 1966.
5. Соммер, У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino / У. Соммер. – СПб., 2012.

беля, степень влияния соседних штабелей на процесс охлаждения рассматриваемого штабеля и др. Эта информация является излишней, если необходимо знать только продолжительность охлаждения штабелей из слябов углеродистых сталей при постоянных условиях охлаждения в зависимости от различных геометрических параметров штабеля. Для построения этой зависимости использован полный факторный эксперимент. В качестве объекта, на котором проводятся эксперименты, использовалась математическая модель [1, с. 83] охлаждения штабеля.

Основная часть.

Основными параметрами, влияние которых рассматривается в данной работе, являются ширина штабеля $2A$, длина штабеля 2ℓ , высота штабеля H и расстояние между штабелями a . Выберем диапазоны изменения параметров в соответствии с технологией:

- половина ширины A штабеля (фактор x_1): $0,6 \div 1,0$ м;
- половина длины ℓ штабеля (фактор x_2): $2,0 \div 6,0$ м;
- высота H штабеля (фактор x_3): $2,0 \div 4,0$ м;

– расстояние a между штабелями (фактор x_4):
1,0÷2,0 м.

Обозначим через y общее время охлаждения штабеля до заданной температуры. Для полного факторного эксперимента, в котором реализуются все возможные комбинации четырех факторов, число опытов определим по формуле:

$$N = 2^k = 2^4 = 16.$$

Основные уровни варьирования значений факторов примем равными:

$$x_{10} = 0,8 \text{ м}, x_{20} = 4 \text{ м}, \\ x_{30} = 3 \text{ м}, x_{40} = 1,5 \text{ м}.$$

Шаги варьирования параметров выбираем в соответствии с принятыми диапазонами значений факторов следующими:

$$\Delta x_1 = 0,2 \text{ м}, \\ \Delta x_2 = 2 \text{ м}, \\ \Delta x_3 = 1 \text{ м}, \\ \Delta x_4 = 0,5 \text{ м}.$$

Введем кодированные значения факторов по формуле:

$$X_i = (x_i - x_{i0}) / \Delta x_i, \quad (1)$$

где X_i – кодированное значение фактора, x_i – натуральное значение фактора, x_{i0} – натуральное значение основного уровня, Δx_i – интервал варьирования, $i = 1, 2, 3, 4$ – номер фактора.

Тогда экспериментально-статистическая модель будет иметь вид:

$$y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_4 \cdot X_4 + b_5 \cdot X_5 + \\ + b_6 \cdot X_6 + b_7 \cdot X_7 + b_8 \cdot X_8 + b_9 \cdot X_9 + b_{10} \cdot X_{10} + b_{11} \cdot X_{11} + \\ + b_{12} \cdot X_{12} + b_{13} \cdot X_{13} + b_{14} \cdot X_{14} + b_{15} \cdot X_{15}, \quad (2)$$

где $X_5 = X_1 \cdot X_2$, $X_6 = X_1 \cdot X_3$, $X_7 = X_1 \cdot X_4$, $X_8 = X_2 \cdot X_3$, $X_9 = X_2 \cdot X_4$, $X_{10} = X_3 \cdot X_4$, $X_{11} = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$, $X_{12} = X_1 \cdot X_2 \cdot X_4$, $X_{13} = X_2 \cdot X_3 \cdot X_4$, $X_{14} = X_1 \cdot X_3 \cdot X_4$, $X_{15} = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4$.

Значения кодированных факторов занесем в табл. 1.

Значения y_n получаем с помощью модели. Для этого проведем вычислительные эксперименты для исходных данных, представленных в табл. 2.

Таблица 1

Значения кодированных факторов

Факторы	Номер вычислительного эксперимента															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A , м	1	1	1	1	0,6	0,6	0,6	0,6	1	1	1	1	0,6	0,6	0,6	0,6
ℓ , м	6	6	6	2	6	2	6	6	2	6	2	2	6	2	2	2
H , м	4	4	2	4	4	4	2	4	4	2	2	2	2	4	2	2
a , м	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1

Таблица 2

Результаты эксперимента

№	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	y_n
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	220,5
2	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	237
3	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	148,2
4	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	185
5	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	151,5
6	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	130,8
7	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	110,9
8	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	166,2
9	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	198
10	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	155,5
11	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	132,8
12	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	1	-1	138,8
13	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	118,5
14	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	143,2
15	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	101
16	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	107,5

Теплофизические свойства при проведении эксперимента выбраны для углеродистых марок сталей.

При выборе исходных данных приняли во внимание значения кодированных факторов и формулу кодирования (1) в виде:

$$x_i = x_{i0} + \Delta x_i \cdot X_i.$$

Значения коэффициентов b_i модели (2) находим по формуле:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X_{ki} \cdot y_k.$$

Тогда в безразмерных переменных уравнение (2) примет вид:

$$\begin{aligned} y = & 152,84 + 24,1375X_1 + 10,7X_2 + 26,1875X_3 - \\ & - 5,25X_4 + 2,625X_1 \cdot X_2 + 6,9625X_1 \cdot X_3 - \\ & - 0,1X_1 \cdot X_4 + 4,075X_2 \cdot X_3 - 0,5125X_2 \cdot X_4 - \\ & - 1,825X_3 \cdot X_4 + 1,225X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,0875X_1 \cdot X_2 \cdot X_4 + \\ & + 0,2125X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,2X_1 \cdot X_3 \cdot X_4 - \\ & - 0,0625X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4. \end{aligned} \quad (3)$$

Для проверки адекватности модели используем F -критерий Фишера, который определяем по следующей формуле:

$$F = S_{ад}^2 / S_y^2,$$

где $f = N - (k + 1) = 11$ – число степеней свободы, $S_{ад}^2 = \sum \Delta y_i^2 / f = 0,2627$ – дисперсия адекватности, $S_y^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 = 39,83$ – дисперсия ошибок эксперимента. В расчетах принимаем уровень значимости равным $\alpha = 0,05$.

Таким образом, $F \approx 0,01$, при этом табличное значение критерия $F_{табл} = 2,33$. Так как $F < F_{табл}$, то построенная модель адекватна.

Для проверки значимости коэффициентов модели определяем доверительный интервал по формуле:

$$\Delta b_j = \pm t \cdot S_{bj} = \pm 3,38,$$

где $S_{bj}^2 = S_y^2 / N = 2,49$ – квадратичная ошибка коэффициента регрессии; t – табличное значение критерия Стьюдента. Таким образом, в уравнении (3) значимыми являются коэффициенты его линейной части. Инженерная зависимость в кодированных переменных имеет вид:

$$y = 152,84 + 24,1375 \cdot X_1 + 10,7 \cdot X_2 + 26,1875 \cdot X_3 - 5,25 \cdot X_4. \quad (4)$$

Преобразуем (4) к уравнению в размерных переменных по формулам (1):

$$\begin{aligned} y = & 152,84 + 24,1375 \cdot (x_1 - 0,8) / 0,2 + 10,7 \cdot (x_2 - 4) / 2 + \\ & + 26,1875 \cdot (x_3 - 3) / 1 - 5,25 \cdot (x_4 - 1,5) / 0,5 = \\ = & -27,9225 + 120,6875x_1 + 5,35x_2 + 26,1875x_3 - 10,5x_4. \end{aligned}$$

Окончательно инженерная модель в принятых обозначениях параметров охлаждения имеет вид:

$$t = -27,9225 + 120,6875 \cdot A + 5,35 \cdot \ell + 26,1875 \cdot H - 10,5 \cdot a, \quad (5)$$

где $0,6 \leq A \leq 1,0$ м, $2,0 \leq \ell \leq 6,0$ м, $2,0 \leq H \leq 4,0$ м, $1,0 \leq a \leq 2,0$.

На рисунке представлены графики продолжительности охлаждения штабеля в зависимости от рассмотренных выше факторов, полученные в результате моделирования и расчета по формуле (5).

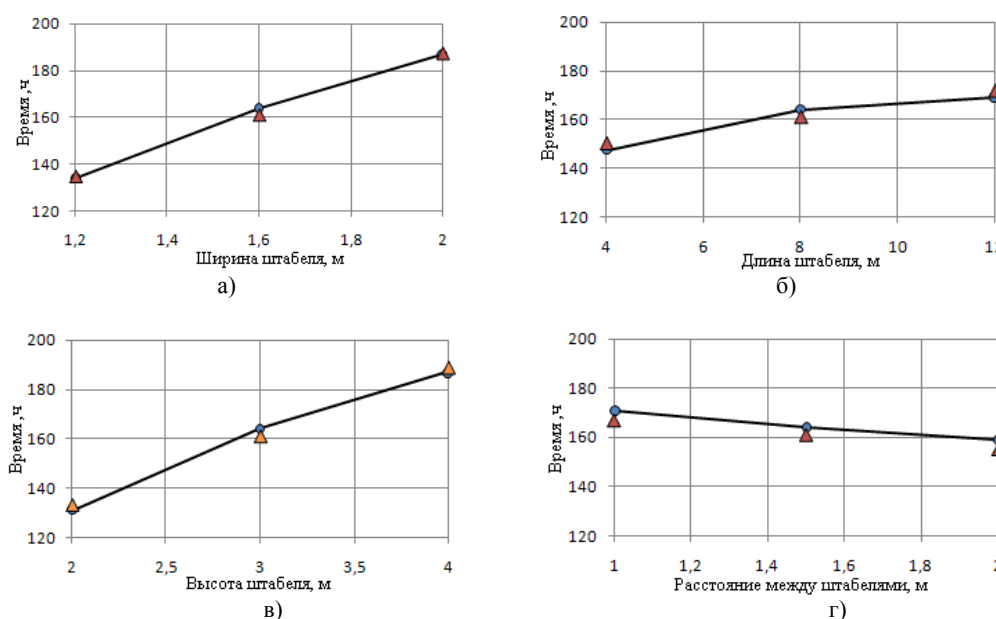


Рисунок. Зависимость времени охлаждения штабеля от различных геометрических параметров охлаждения:

а) ширина, б) длина, в) высота штабеля, г) расстояние между штабелями; ● – математическая модель, ▲ – экспериментально-статистическая модель (5)

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-