

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗЛИВКИ СТАЛИ ПРИ ОТЛИВЕ ЗАГОТОВОК КВАДРАТНОГО СЕЧЕНИЯ

ВВЕДЕНИЕ

Повсеместное внедрение и оптимизация технологии непрерывной разливки стали на действующих металлургических предприятиях является приоритетным направлением развития отечественной металлургии. В 1999 году на ЗАО «ММЗ ИСТИЛ (Украина)» было начато производство непрерывнолитой заготовки на новой шестиручьевой МНЛЗ, разработанной компанией «Danieli».

Основными технологическими факторами, обеспечивающими получение заготовок высокого качества являются: температура жидкой стали, ее перегрев, скорость разливки и режимы охлаждения заготовок в кристаллизаторе и зоне вторичного охлаждения.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Температура жидкой стали влияет на процесс разливки и определяет качество полученных заготовок. При недостаточном перегреве снижается жидкотекучесть и затрудняются условия разливки, а перегрев ведет к образованию внутренних трещин и увеличивает осевую усадочную пористость слитка.

Регулируемыми параметрами процесса непрерывной разливки являются скорость разливки и интенсивность охлаждения слитка, то есть подача количества охлаждающей воды в кристаллизатор и зону вторичного охлаждения.

При неизменных физико-химических свойствах скорость разливки металла, зависящая от размеров слитка и марки стали, обеспечивает главные технологические показатели – производительность и качество поверхности слитка. Допустимая скорость вытягивания зависит от толщины корочки, ее способности выдержать ферростатическое давление и тянущие усилия.

Повышение интенсивности охлаждения слитка способствует увеличению скорости разливки, но ограничивается вероятностью появления трещин вследствие возрастания термических напряжений. С увеличением скорости разливки возрастает ферростатическое давление на оболочку слитка, что значительно опасней, чем термическое напряжение.

Методом планирования эксперимента определены оптимальные параметры системы охлаждения. В качестве факторов приняты скорость разливки и расходы воды на кристаллизатор и зону вторичного охлаждения.

Поставленная задача состояла в создании приложения в среде программирования Delphi, позволяющего минимизировать пользователю потери времени на ввод исходных данных, автоматический расчет введенных данных, оценку полученных результатов, проверку их значимости и адекватности полученной модели исследуемому объекту .

Планирование эксперимента проводится на примере «черного ящика» (МНЛЗ), входными параметрами являются X_1 , X_2 , X_3 , а выходным - функция отклика Y , представляющая собой минутную производительность шестиручьевого установки. В процессе эксперимента рассматривалось заготовки квадратного сечения 100x100 мм и 155x155мм.

Была составлена матрица планирования двухфакторного эксперимента типа 2^3 (рис.1). Полное количество экспериментов = 8.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СРЕДСТВАМИ СРЕДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ DELPHI

Программа, созданная в Delphi состоит из двух форм. На рис. 1 показана первая форма программы, состоящая из меню, двух компонентов Stringgrid для ввода исходных данных и вывода на экран расчетов, компонентов Panel, в которые выводятся полученные уравнения регрессии.

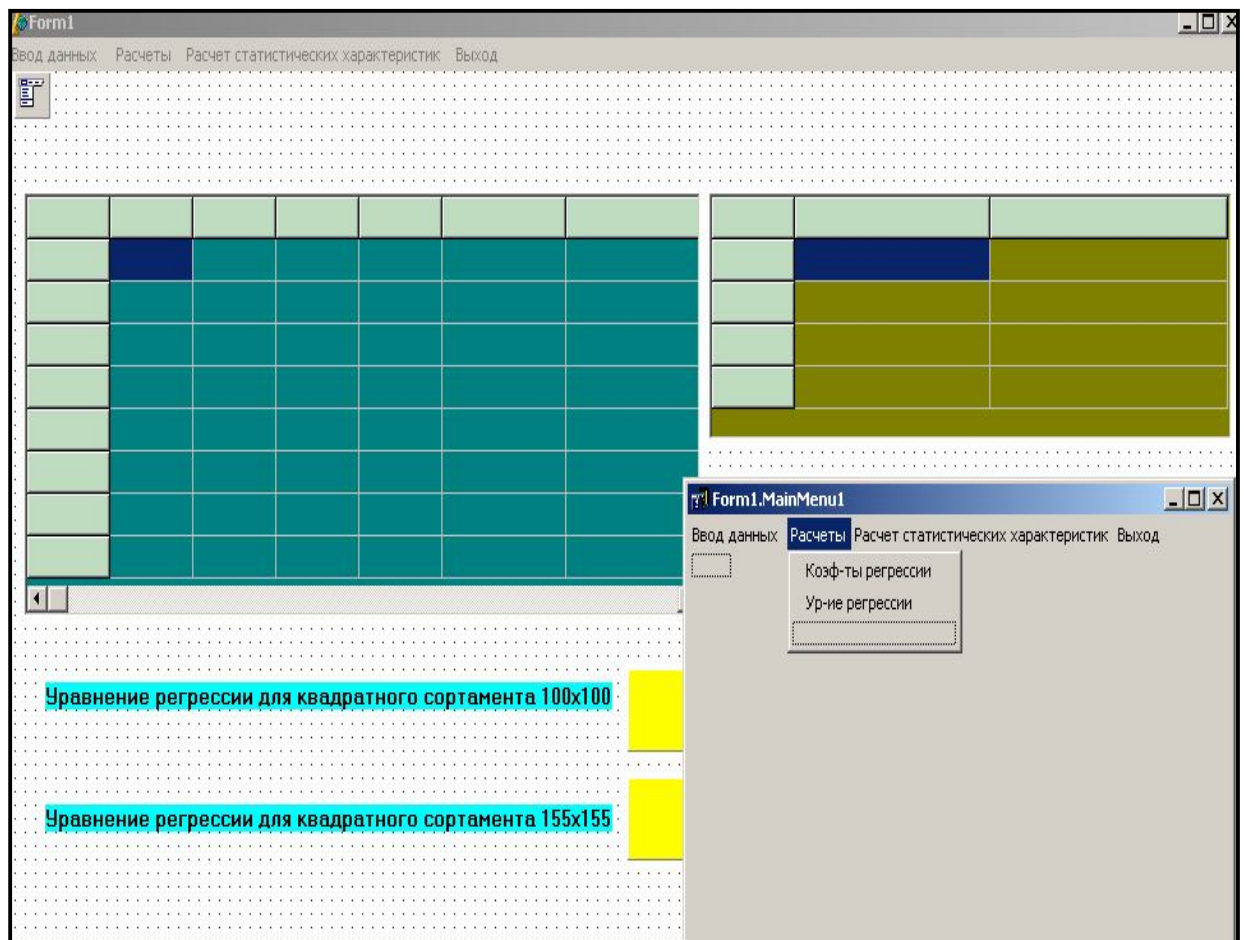


Рисунок 1 . Исходная форма в режиме Конструктора

После ввода исходных данных заполняется первая таблица, затем при выборе пункта меню «Расчеты/ Коэффициенты» происходит расчет коэффициентов регрессии, которые после этого помещаются в таблицу 2 и при

выборе пункта меню «Расчеты /Уравнение регрессии» сами уравнения отображаются в компонентах Panel.

На рис. 2 показана первая форма в режиме запуска.

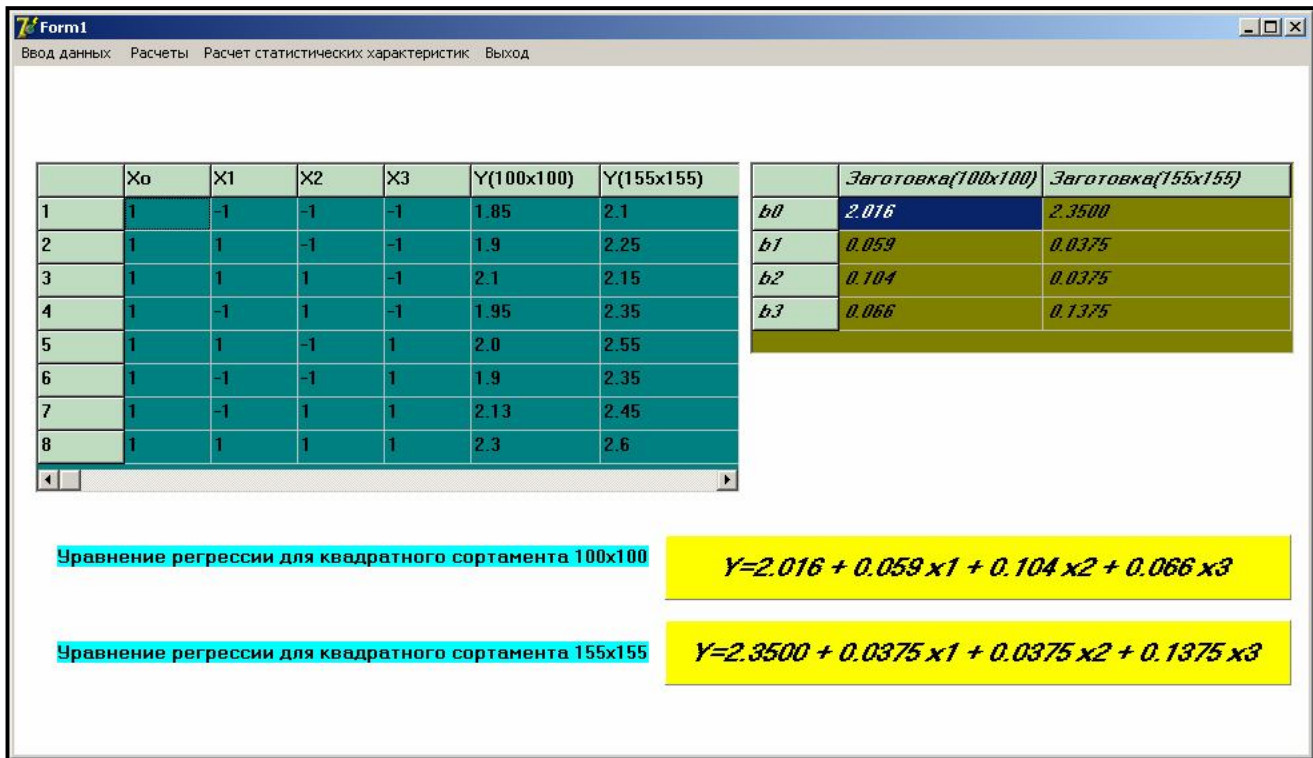


Рисунок 2 Результаты расчетов программы

При выборе пункта меню «Статистические характеристики» осуществляется переход во вторую форму, внешний вид которой показан на рис. 3.

Рассмотрим подробнее результаты работы программы. В левой части экрана (рис.2) показана матрица планирования двухфакторного эксперимента для заготовок квадратного сечения

Нами были определены коэффициенты уравнения регрессии для выбранной модели, которая строится в следующей последовательности. Выбирается вид уравнения:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 \quad (1)$$

Проводятся эксперименты, оцениваются полученные результаты, определяется коэффициенты уравнения регрессии по формуле:

$$b_1 = \frac{\sum_{n=1}^n y_n \cdot x_{in}}{\sum_{n=1}^n x_{in}^2} \quad (2)$$

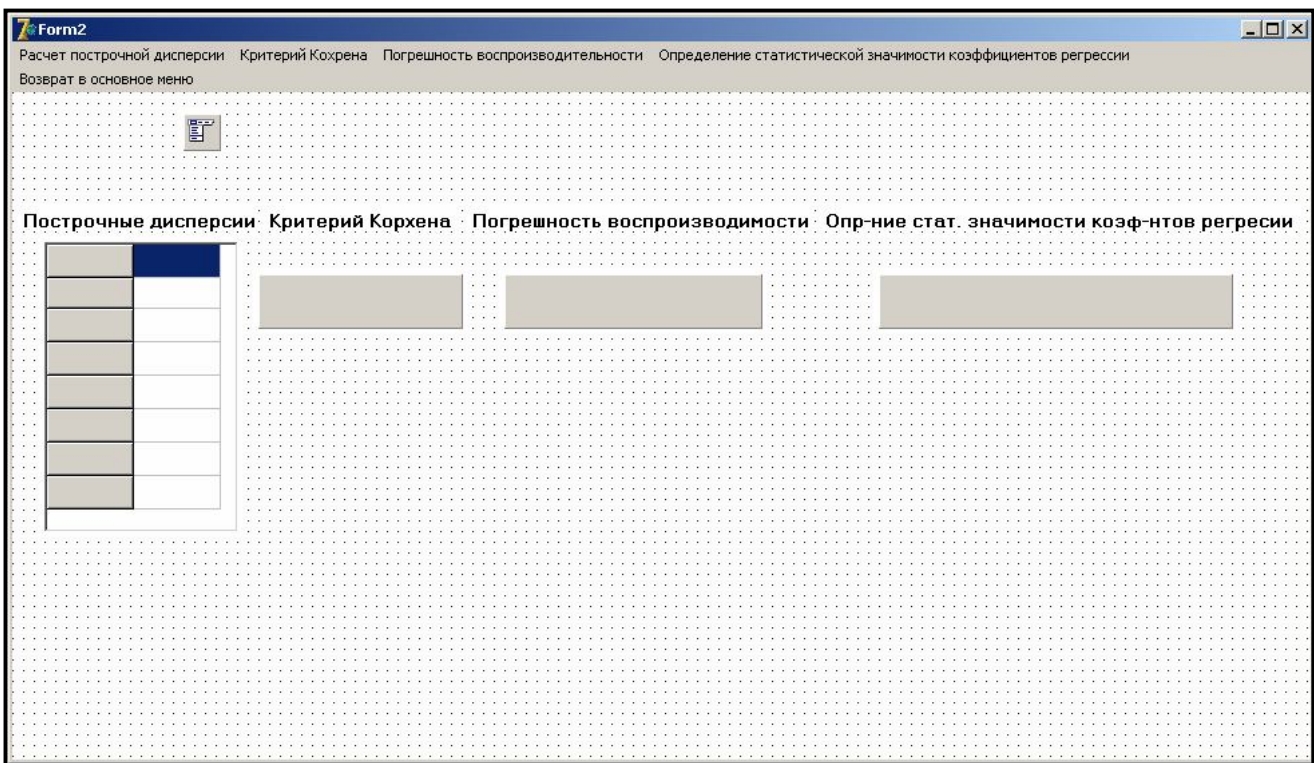


Рисунок 3 . Вторая форма в режиме Конструктора

В правой части экрана (рис. 2) матрица для расчетов коэффициентов уравнений регрессии (рис.4).

	<i>Заготовка(100x100)</i>	<i>Заготовка(155x155)</i>
<i>b0</i>	<i>2.016</i>	<i>2.3500</i>
<i>b1</i>	<i>0.059</i>	<i>0.0375</i>
<i>b2</i>	<i>0.104</i>	<i>0.0375</i>
<i>b3</i>	<i>0.066</i>	<i>0.1375</i>

Рисунок 4. Коэффициенты уравнения регрессии для заготовок исследуемого типа

В ходе проведения расчетов были определены их значимость и адекватность полученной модели исследуемого объекта. В итоге получены два уравнения регрессии для МНЛЗ, описывающие оптимальную тепловую работу установки:

- для заготовки квадратного сечения 100*100 мм

$$y = 2,016 + 0,059x_1 + 0,104x_2 + 0,066x_3 \quad (3)$$

- для заготовки квадратного сечения 150*150 мм

$$y = 2,35 + 0,037x_1 + 0,0375x_2 + 0,1375x_3 \quad (4)$$

ЛИСТИНГ ПРОГРАММЫ

```
unit Unit1;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, ExtCtrls, StdCtrls, Grids, Menus;

type
  TForm1 = class(TForm)
    MainMenu1: TMainMenu;
    N1: TMenuItem;
    N2: TMenuItem;
```

```
N3: TMenuItem;
N4: TMenuItem;
N5: TMenuItem;
StringGrid1: TStringGrid;
Panel5: TPanel;
N6: TMenuItem;
StringGrid2: TStringGrid;
Panel1: TPanel;
Label1: TLabel;
Label2: TLabel;
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure N1Click(Sender: TObject);
procedure N3Click(Sender: TObject);
procedure N4Click(Sender: TObject);
procedure N5Click(Sender: TObject);
procedure N6Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  x,y,y1:array[1..8] of real; b,s,n,b1,s1:array[0..4] of real;
  { Public declarations }
end;

var
  Form1: TForm1;

implementation

uses Unit2;
```



```
{$R *.dfm}
```

```
procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
with stringgrid1 do begin
```

```
cells[1,0]:='X0'; cells[2,0]:='X1';cells[3,0]:='X2'; cells[4,0]:='X3';
```

```
cells[5,0]:='Y(100x100)'; cells[6,0]:='Y(155x155)';
```

```
cells[0,1]:='1'; cells[0,2]:='1';cells[0,2]:='2'; cells[0,3]:='3';
```

```
cells[0,4]:='4'; cells[0,5]:='5'; cells[0,6]:='6';cells[0,7]:='7'; cells[0,8]:='8';
```

```
with stringgrid2 do begin
```

```
cells[1,0]:='Заготовка(100x100)'; cells[2,0]:='Заготовка(155x155)';
```

```
cells[0,1]:='b0'; cells[0,2]:='b1';cells[0,3]:='b2'; cells[0,4]:='b3';
```

```
end; end;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.N1Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
with stringgrid1 do begin
```

```
cells[1,1]:='1'; cells[1,2]:='1';cells[1,3]:='1'; cells[1,4]:='1';
```

```
cells[1,5]:='1'; cells[1,6]:='1'; cells[1,7]:='1';cells[1,8]:='1';
```

```
cells[2,1]:='-1'; cells[2,2]:='1'; cells[2,3]:='1'; cells[2,4]:='-1';
```

```
cells[2,5]:='1'; cells[2,6]:='-1'; cells[2,7]:='-1';cells[2,8]:='1';
```

```
cells[3,1]:='-1'; cells[3,2]:='-1';cells[3,3]:='1'; cells[3,4]:='1';
```

```
cells[3,5]:='-1'; cells[3,6]:='-1'; cells[3,7]:='1';cells[3,8]:='1';
```

```
cells[4,1]:='-1'; cells[4,2]:='-1'; cells[4,3]:='-1'; cells[4,4]:='-1';
```

```
cells[4,5]:='1'; cells[4,6]:='1'; cells[4,7]:='1';cells[4,8]:='1';
```

```
cells[5,1]:='1.85'; cells[5,2]:='1.9'; cells[5,3]:='2.1'; cells[5,4]:='1.95';
```

```

cells[5,5]:='2.0'; cells[5,6]:='1.9'; cells[5,7]:='2.13';cells[5,8]:='2.3';
cells[6,1]:='2.1'; cells[6,2]:='2.25'; cells[6,3]:='2.15'; cells[6,4]:='2.35';
cells[6,5]:='2.55'; cells[6,6]:='2.35'; cells[6,7]:='2.45';cells[6,8]:='2.6'
end;end;

```

procedure TForm1.N3Click(Sender: TObject);

VAR

i,j:integer; xx:string;

begin

 for j:=1 to 4 do begin

 s[j]:=0; N[j]:=0; s1[j]:=0;

 for i:=1 to 8 do begin

 x[i]:=strtofloat(stringgrid1.Cells[j,i]);

 y[i]:=strtofloat(stringgrid1.Cells[5,i]);

 y1[i]:=strtofloat(stringgrid1.Cells[6,i]);

 S[j]:=S[j]+x[i]*y[i];

 S1[j]:=S1[j]+x[i]*y1[i];

 N[j]:=x[i]*x[i]+N[j];

 end;

 b[j]:=S[j]/N[j] ; b1[j]:=S1[j]/N[j] ;

 with stringgrid2 do begin

 cells[1,j]:=floattostr(b[j]);

 str(b[j]:1:3,xx);

 cells[1,j]:=xx;

 cells[2,j]:=floattostr(b1[j]);

 str(b1[j]:1:4,xx);

 cells[2,j]:=xx; end;

 end; end;

procedure TForm1.N4Click(Sender: TObject);

var

x1,x2,x3:string;

begin

panel5.caption:='Y='+stringgrid2.cells[1,1]+' + '+stringgrid2.cells[1,2]+' x1 +
'+stringgrid2.cells[1,3]+' x2 + '+stringgrid2.cells[1,4]+' x3';

panel1.caption:='Y='+stringgrid2.cells[2,1]+' + '+stringgrid2.cells[2,2]+' x1 +
'+stringgrid2.cells[2,3]+' x2 + '+stringgrid2.cells[2,4]+' x3';

end;

procedure TForm1.N5Click(Sender: TObject);

begin

form1.Visible:=false;

form2.show;

end;

procedure TForm1.N6Click(Sender: TObject);

begin

close;

end;

end.

ВЫВОДЫ

Математическая модель разливки стали на МНЛЗ разработана методом планирования эксперимента в среде программирования Delphi и получены уравнения регрессии, позволяющие управлять процессом разливки стали на сортовую заготовку квадратного сечения от 100 до 155 мм, обеспечивая при этом оптимальную производительность и высокое качество заготовок.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	1
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ	2
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СРЕДСТВАМИ СРЕДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ	
DELPHI	4
ЛИСТИНГ ПРОГРАММЫ	7
ВЫВОДЫ	12

РЕЦЕНЗИЯ
на конкурсную работу студента гр. ПТТ03
Кононенко Алексея

В работе ставилась задача создания программы, позволяющей определить оптимальные параметры системы охлаждения слитка, позволяющего получить заготовки высокого качества. В качестве факторов, которые можно модифицировать, приняты скорость разлива и расходы воды на кристаллизатор и зону вторичного охлаждения.

Работа выполнялась в два этапа. На первом этапе использовался метод планирования эксперимента, причем входными параметрами являются X_1 , X_2 , X_3 , а выходным - функция отклика Y , представляющая собой минутную производительность шестиручьевого установки. В процессе эксперимента рассматривались заготовки квадратного сечения 100x100 мм и 155x155мм. На основании проведенных расчетов составлена матрица планирования двухфакторного эксперимента типа 2^3 .

На этом этапе были получены коэффициенты уравнения регрессии для квадратных заготовок разных сечений.

На втором этапе создана программа в среде программирования Delphi, позволяющая автоматизировать процесс расчета составляющих регрессионного анализа.

Разработанная программа протестирована на экспериментальных данных. Выполненная работа потребовала от автора знаний основ математической статистики и программирования.

Результаты работы доложены на международной конференции «Ира! Здесь название», которая проходила в октябре 2008г. В Днепропетровске.

Работа рекомендуется для участия в конкурсе студенческих работ.

Доцент каф. ВМиП, к.т.н.

Анохина И.Ю.