

УДК 621.313

## ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ MICROSOFT VISUAL BASIC

**А. М. Николаенко, Є. Т. Чумак, Ю. П. Таран**

Запорізька державна інженерна академія

просп. Леніна, 226, м. Запоріжжя, 69006, Україна. E-mail: [tetri@ukr.net](mailto:tetri@ukr.net)

Отримано математичну модель довжини заготовки на ливарно-прокатному модулі; за допомогою системи об'єктно-орієнтованого візуального програмування Visual Basic пакета Microsoft Visual Studio 6.0 спроектовано комбіновану систему автоматичного регулювання положення петлі заготовки на ливарно-прокатному модулі, впровадження якої у виробництво на Запорізькому алюмінієвому комбінаті призвело до збільшення продуктивності ливарно-прокатного модуля на 3 %.

**Ключові слова:** ливарне колесо, прокатний стан, заготовка, катанка, імітаційна модель, програмний модуль, система автоматичного регулювання.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИ ПОМОЩИ MICROSOFT VISUAL BASIC

**А. Н. Николаенко, Е. Т. Чумак, Ю. П. Таран**

Запорожская государственная инженерная академия

просп. Ленина, 226, г. Запорожье, 69006, Украина. E-mail: [tetri@ukr.net](mailto:tetri@ukr.net)

Получена математическая модель длины заготовки на литейно-прокатном модуле; с помощью системы объектно-ориентированного визуального программирования Visual Basic пакета Microsoft Visual Studio 6.0 спроектирована комбинированная система автоматического регулирования положения петли заготовки на литейно-прокатном модуле, внедрение которой в производство на Запорожском алюминиевом комбинате привело к увеличению производительности литейно-прокатного модуля на 3 %.

**Ключевые слова:** литейное колесо, прокатный стан, заготовка, катанка, имитационная модель, программный модуль, система автоматического регулирования.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Протягом розвитку обчислювальної техніки розроблено чимало прикладних програм (Matlab, MathCAD, VISSIM, LABVIEW та ін.), за допомогою яких можна здійснювати швидко розробку віртуальних прототипів систем автоматизації. Проте ці програми досить ресурсоємні, оскільки при створенні й дослідженні імітаційних моделей комп'ютер повинен забезпечувати потреби не тільки їх програмних кодів, а й середовища розробки, а це додаткова оперативна пам'ять та значний машинний час. Окрім того, перелічені програми обмежено підтримують російську мову й зовсім не підтримують українську, потребують адаптації проекту при зміні версії й сумісні тільки з певними операційними системами.

Система об'єктно-орієнтованого візуального програмування Visual Basic призначена для створення програм, що працюють під керуванням операційної системи Windows. Тому, на відміну від перелічених пакетів, вона дозволяє створювати імітаційні моделі з використанням можливостей цієї операційної системи та інших програмних продуктів корпорації Microsoft. А це означає, що при створенні проектів суттєво зменшується об'єм потрібної оперативної пам'яті, скорочується машинний час, а програмний код може бути оформлений у вигляді окремого виконавчого exe-файлу, який працює на будь-якому комп'ютері без використання середовища розробки. Окрім того, система програмування Visual Basic є найшвидшою й найпростішою системою для створення Windows-додатків, тому моделювання процесу формування заготовки у ливарно-прокатному модулі (ЛПМ) з

виробництва алюмінієвої катанки й проектування системи автоматичного регулювання (САР) положення петлі заготовки здійснювалося у Visual Basic.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Виробництво алюмінієвої катанки на Запорізькому алюмінієвому комбінаті починається з формування заготовки. Розплавлений алюміній (рис. 1) з температурою  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  подається в мідну кільцеву виливницю, що обертається, т.А і на відріжку BC охолоджується водою за певною схемою. Сформована заготовка з кристалізацією металу 90–95 % відділяється від виливниці у т.С. На відріжку CD кристалізація металу завершується й настає сталий режим, протягом якого середня по перетину температура заготовки ( $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) залишається практично незмінною, відрізок DE, і подається в прокатний стан для виробництва алюмінієвої катанки.

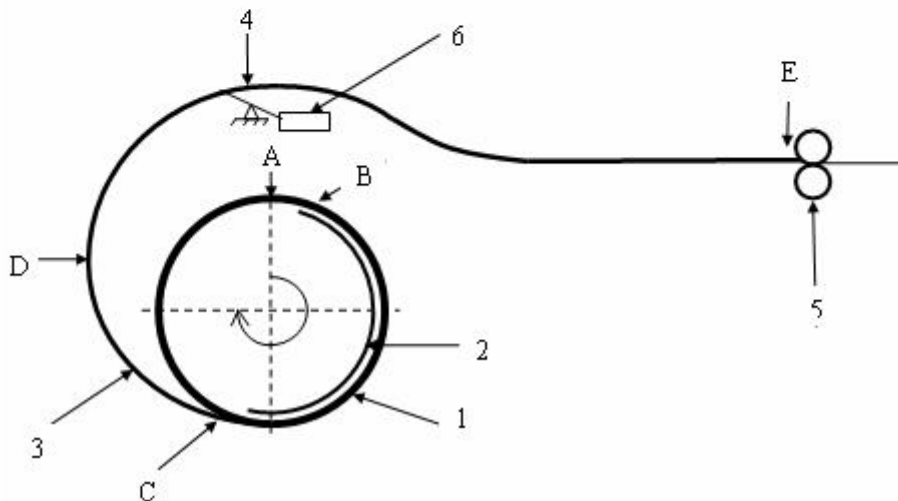


Рисунок 1 – Ливарно-прокатний модуль по виробництву алюмінієвої катанки  
й схема формування заготовки:

- 1 – ливарне колесо; 2 – кристалізатор; 3 – заготовка; 4 – петля заготовки; 5 – прокатний стан;  
6 – тонарм з противагою і датчиком кута повороту; А – точка надходження розплавленого  
алюмінію до ливарного колеса; В – точка початку кристалізації заготівки;  
С – точка виходу заготівки з ливарного колеса; D – точка остаточної кристалізації металу;  
Е – точка входу заготовки у прокатний стан

Дослідженнями встановлено [1], що на формування довжини алюмінієвої заготовки суттєво впливає температурне скорочення металу (усадка)  $\Delta L_1$ , яке відбувається в результаті його охолодження у виливниці ливарного колеса:

$$\Delta L_1 = kL_0 c_1 (T_C - T_A), \quad (1)$$

де  $L_0 = V_{Л} \Delta t$  – базова довжина отриманого зливка за цикл лиття;  $V_{Л}$  – лінійна швидкість заготовки на виході з ливарного колеса;  $c_1$  – коефіцієнт температурного подовження алюмінію;  $T_C$  – температура зливка на виході з ливарного колеса;  $T_A$  – температура металу на вході в ливарне колесо;  $k$  – кількість циклів лиття;  $\Delta t$  – цикл лиття.

Унаслідок температурної нестабільності при формуванні зливка у ливарному колесі величина усадки змінюється. Так, при збільшенні температурного градієнта на 40 °С базова довжина заготовки, яка формується протягом восьми циклів лиття, збільшується на 0,04 м.

Відомо також, що при зміні коефіцієнта витяжки прокатного стана, який залежить від поверхні валків і стану катаючих клітей, змінюється швидкість руху заготовки на вході в стан [2]. Тоді при незмінній швидкості ливарного колеса довжина заготовки за час її руху до прокатного стана змінюється на величину

$$\Delta L_2 = (V_{Л} - V_{ВХ}) k \Delta t = \left( V_{Л} - \frac{\pi d^2 c_2 n}{4 Q_{ВХ}} \right) k \Delta t, \quad (2)$$

де  $V_{ВХ} = V_{ВІХ} \frac{Q_{ВІХ}}{Q_{ВХ}} = \frac{V_{ВІХ}}{\lambda}$  – швидкість заготовки на вході в прокатний стан;  $V_{ВІХ} = c_2 n$  – швидкість катанки на виході з прокатного стана;  $Q_{ВХ}$  – перетин заготовки на вході в прокатний стан;  $Q_{ВІХ}$  – перетин катанки на виході з прокатного стана;  $\lambda = \frac{Q_{ВХ}}{Q_{ВІХ}} = \frac{4 Q_{ВХ}}{\pi d^2}$  – коефіцієнт витяжки прокатного стана;  $d$  – діаметр катанки;  $c_2$  – коефіцієнт передачі швидкості прокатного стана;  $n$  – швидкість обертання електропривода.

На реальному об'єкті при коливаннях коефіцієнта витяжки від 17,1 до 16,1 приріст довжини алюмінієвої заготовки  $\Delta L_2$  за час її руху від ливарного колеса до прокатного стана складає від 0,06 м до 0,6 м.

Таким чином, виходячи з особливостей роботи об'єкта керування та результатів досліджень, довжину заготовки можна визначити рівнянням

$$L = L_{заг} + \Delta L_1 + \Delta L_2, \quad (3)$$

де  $L_{заг} = 16,8$  м – базова довжина алюмінієвої заготовки між ливарним колесом і прокатним станом.

З урахуванням (1) і (2), математична модель довжини заготовки на ливарно-прокатному модулі отримує вигляд

$$L = L_{заг} + \left( V_{Л} c_1 (T_C - T_A) + V_{Л} - \frac{\pi d^2 c_2 n}{4 Q_{ВХ}} \right) k \Delta t. \quad (4)$$

Вираз у дужках цього рівняння визначається нестабільністю роботи ливарного колеса й прокатного стана, а тому характеризує величину прирощення заготовки  $\Delta L$  під впливом збурень, діючих в ЛПМ.

Для проектування системи автоматичного регулювання положення петлі заготовки в редакторі Visual Basic пакета Microsoft Visual Studio 6.0 [3] розроблено додаток користувача,

в основу якого покладено математичну модель довжини заготовки на ливарно-прокатному модулі. Алгоритм роботи електронної моделі складається з декількох екранних форм і програмних модулів. На основній екранній формі (рис. 2) показано ливарне колесо, прокатний стан, петля заготовки між ливарним колесом і прокатним станом. Біля основних точок технологічної лінії відображаються в динаміці параметри, що характеризують процес формування заготовки. До окремих об'єктів екранної форми прив'язані відповідні програмні модулі.

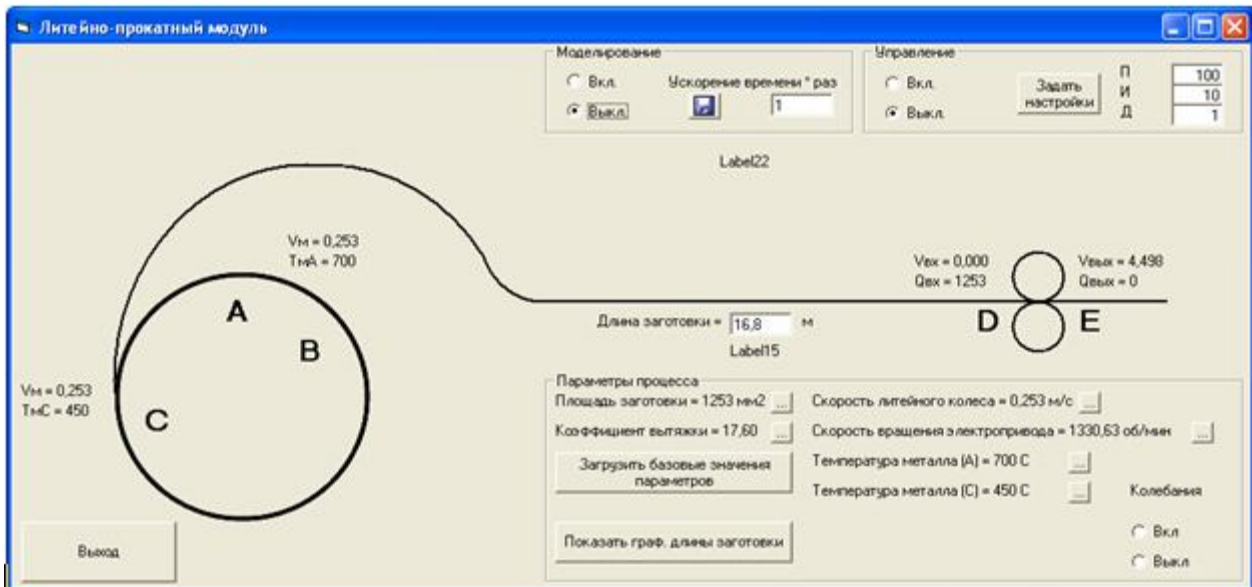


Рисунок 2 – Основна екранна форма електронної моделі об'єкта автоматизації

1. Програмний модуль процедури моделювання процесу формування заготовки. Логіка цієї процедури побудована з урахуванням довжини заготовки, що потрапляє у прокатний стан, та приросту її довжини, що відбувається при нестабільностях у процесах лиття та прокатки:

```
Sub Recount()
c2 = 0,00338
c1 = 0,000022
dIT = V_1 * c1 * (T_C - T_A)
dIM = V_1 - c2 * N * 3,14 * D ^ 2 / (4 * Q)
Dovgina = (Dovgina + dIT + dIM)*k*dT
...
End Sub
```

2. Програмний модуль процедури моделювання роботи регулятора. Логіка цієї процедури враховує реалізацію дискретної форми ПД-регулятора, встановлення його параметрів та вмикання/вимикання автоматичного режиму з основної екранної форми моделі:

```
If Flag_Upr Then
x = Dlina - 16,8 + dl
p = CDbI(Text3.Text) * x
i = Integrator + x / CDbI(Text4.Text)
d = (x - Difference) * CDbI(Text5.Text)
Difference = x
If i <> 0 Then Integrator = i
```

```
u = p + i + d  
N = u  
Fcount  
End If
```

3. Програмний модуль процедури, що генерує збурення синусоїдальної форми для температур заготовки у діапазоні 0–5 °С, і для коефіцієнта витяжки у діапазоні 0–0,001 за одну секунду моделювання, які додаються до поточного значення параметрів. Якщо величина параметрів виходить за робочі діапазони температур металу у т.А (700–720 °С) і т.С (450–545 °С), а також коефіцієнта витяжки (15,9–17,6), тоді знак генеруємої величини змінюється на протилежний:

```
Sub Chaos_Proc()  
Randomize  
dT = Rnd() * 5  
If znak1 = 1 Then  
T_A = T_A + dT  
If T_A > 720 Then znak1 = -1  
End If  
If znak1 = -1 Then  
T_A = T_A - dT  
If T_A < 700 Then znak1 = 1  
End If  
dT = Rnd() * 10  
If znak2 = 1 Then  
T_C = T_C + dT  
If T_C >= 545 Then znak2 = -1  
End If  
If znak2 = -1 Then  
T_C = T_C - dT  
If T_C <= 450 Then znak2 = 1  
End If  
dlamda = Rnd() * 0.001  
If znak3 = 1 Then  
lamda = lamda + dlamda  
If lamda > 17.6 Then znak3 = -1  
End If  
If znak3 = -1 Then  
lamda = lamda - dlamda  
If lamda < 15.9 Then znak3 = 1  
End If
```

4. Програмний модуль процедури архівування ходу моделювання. Ця процедура за допомогою драйвера Microsoft.Jet.OLEDB.4.0 створює в Microsoft Access базу даних параметрів технологічного процесу, що надає можливість обробляти їх значення, не перериваючи процес моделювання:

```
Sub CreateDatabase()  
FileName = Format(Now, "dd_mm_h.mm")  
Set oCat = New ADOX.Catalog  
oCat.Create "Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;Data Source=c:\" & FileName &  
".mdb"  
Dim oTable As New Table
```

```
oTable.Name = "MyTable"  
oCat.Tables.Append oTable  
Set oTable = Nothing  
oCat.Tables("MyTable").Columns.Append "Локальний час", adWChar  
oCat.Tables("MyTable").Columns.Append "Час моделювання", adInteger  
oCat.Tables("MyTable").Columns.Append "Довжина заготовки", adDouble  
oCat.Tables("MyTable").Columns.Append "dl", adDouble  
oCat.Tables("MyTable").Columns.Append "N", adDouble  
oCat.Tables("MyTable").Columns.Append "lamda", adDouble  
oCat.Tables("MyTable").Columns.Append "T_A", adDouble  
oCat.Tables("MyTable").Columns.Append "T_C", adDouble  
oCat.Tables("MyTable").Columns.Append "Швидкість лиття", adDouble  
oCat.Tables("MyTable").Columns.Append "Qзаготовки", adDouble  
Set oCat = Nothing  
Flag_DB = True  
End Sub
```

5. Програмний модуль процедури запису поточних даних в базу, що використовує зв'язок через драйвер *ADODB*. Код перевіряє наявність створеної моделлю бази даних і при позитивному результаті здійснює запис за допомогою SQL запиту INSERT:

```
If Flag_DB Then  
On Error GoTo errHandler  
Dim con As ADODB.Connection  
Set con = New ADODB.Connection  
con.Open "Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;Data Source=c:\" & FileName &  
" mdb"  
If con.State = adStateOpen Then  
con.Execute "INSERT INTO MyTable VALUES(" & Chr(34) & Format(Now,  
"hh:mm:ss") & Chr(34) & "," & _  
TimeTick & "," & _  
Replace(CStr(Format(Dlina, "0.000000")), ",", ".") & "," & _  
Replace(CStr(Format(Dlina - 16.8, "0.000000")), ",", ".") & "," & _  
Replace(CStr(Format(N, "0.00")), ",", ".") & "," & _  
Replace(CStr(Format(lamda, "0.0")), ",", ".") & "," & _  
Replace(CStr(Format(T_A, "0.0")), ",", ".") & "," & _  
Replace(CStr(Format(T_C, "0.0")), ",", ".") & "," & _  
Replace(CStr(Format(V_1, "0.000")), ",", ".") & "," & _  
Q & ")" ' -Кінець SQL запиту  
con.Close  
End If  
Set con = Nothing
```

Окрім цього, створено модулі зчитування даних з основної екранної форми та виведення інформації на неї, а також побудови графіка перехідного процесу САР положення петлі заготовки й відображення його на додатковій екранній формі проекту.

Зазвичай керування роботою ЛПМ здійснюється одноконтурною САР, яка реалізує ПІ-закон. За сигналом датчика кута повороту, що встановлений на тонармі й відстежує положення петлі заготовки, регулятор формує керувальний вплив на електропривод прокатного стана, який збільшує або зменшує швидкість протягування заготовки через валки. Проте така система не забезпечує необхідну якість регулювання й значна кількість алюмінієвої катанки бракується. Тому для підвищення продуктивності ливарно-прокатного

модуля пропонується комбінована САР, яка на підставі створеної моделі працює не тільки за положенням петлі заготовки, а й за збуреннями, що надходять з боку ливарного колеса та прокатного стана (рис. 3) [4].

Завданням ланки компенсації  $W_k(p)$  є розрахунок коригувального сигналу  $n'$ , який ще до появи сигналу керування з ПД-регулятора  $n_\delta$  зменшить вплив збурень на довжину заготовки. Щоб визначитися з  $n'$ , необхідно розв'язати систему рівнянь, що характеризують величину прирощення заготовки  $\Delta L$  до й після появи коригувального сигналу:

$$\Delta L = \left( V_{Л} c_1 (T_C - T_A) + V_{Л} - \frac{\pi d^2 c_2 n_p}{4 Q_{ВХ}} \right) \Delta t; \quad 0 = \left( V_{Л} c_1 (T_C - T_A) + V_{Л} - \frac{\pi d^2 c_2 (n_p + n')}{4 Q_{ВХ}} \right) \Delta t.$$

Після певних перетворень отримаємо

$$\frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{\pi d^2 c_2 n'}{4 Q_{ВХ}},$$

$$n' = \frac{\Delta L 4 Q_{ВХ}}{\pi d^2 c_2 \Delta t}.$$

звідки

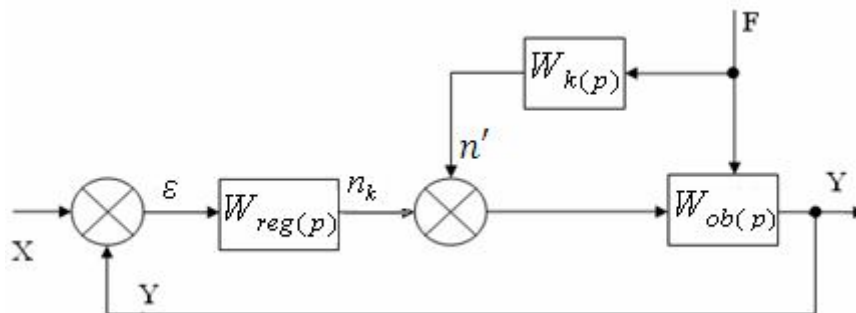


Рисунок 3 – Функціональна схема комбінованої САР положення петлі заготовки:

$X, Y$  – задане й поточне значення регульованого параметра;  $\varepsilon$  – сигнал непогодження;  $n_k$  – керувальне діяння;  $n'$  – сигнал компенсації;  $F$  – збурення;  $W_{reg}(p)$  – регулятор;  $W_k(p)$  – компенсаційна ланка;  $W_{ob}(p)$  – об'єкт автоматизації

При реальних значеннях параметрів  $\lambda = 17,68$ ;  $c_1 = 22,2 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ;  $T_C = 450^\circ C$ ;  $T_A = 700^\circ C$ ;  $\Delta t = 18 c$ ;  $n_p = 1316 об / хв$ ;  $c_2 = 0,00338$ ;  $Q_{ВХ} = 1253 мм^2$ ;  $V_{Л} = 0,253 м / с$  і відсутності збурень величина прирощення довжини заготовки  $\Delta L = 0$ .

При виникненні збурення з боку прокатного стана  $l$  або з боку ливарного колеса  $T_C$  на виході ланки компенсації з'явиться розрахований коригувальний сигнал  $n'$ , який потрапить на привід ливарно-прокатного модуля й скоригує його швидкість у бік компенсації прирощення довжини заготовки, яке відбулося під впливом збурення.

Робота комбінованої САР положення петлі заготовки досліджувалася при однократній зміні коефіцієнта витяжки стана  $l$ , температури заготовки на виході з ливарного колеса  $T_C$  і безперервно виникаючих збуреннях із боку температури заготовки й коефіцієнта витяжки. Якість регулювання порівнювалася з результатами моделювання одноконтурної САР при тих самих збуреннях. Оптимальні настройки регуляторів для даного об'єкта автоматизації були знайдені за допомогою програмного пакета Matlab/Simulink і блока оптимізації NCD\_Outport2.

Порівняння перехідних процесів, отриманих в одноконтурній і комбінованій САР, положення петлі заготовки показали, що при однократній зміні коефіцієнта витяжки стана  $l$  від 16,9 до 17,6 спостерігаються перехідні процеси, в яких у комбінованій САР час регулювання менше приблизно у 30 разів, а максимальне динамічне відхилення – майже у 13 разів. При однократній зміні температури заготовки на виході з ливарного колеса  $T_C$  від 450 до 545 °С перехідні процеси в комбінованій САР мають час регулювання менше у 25 разів, а максимальне динамічне відхилення – у 24 рази.

При одночасних синусоїдальних змінах коефіцієнта витяжки прокатного стана  $l$  у діапазоні 15,9–17,6, температури заготовки на виході з кристалізатора  $T_C$  у діапазоні 450–545 °С і температури металу на вході в ливарне колесо  $T_A$  в діапазоні 700–720 °С отримано перехідні процеси, в яких довжина заготовки при використанні одноконтурної САР є величиною непостійною і коливається в діапазоні від 16,8 до 18,3 м, а при використанні комбінованої САР положення петлі заготовки залишається незмінною й тримається на завданому рівні – 16,8 м, що підтверджує високу якість регулювання.

Промислове випробування спроектованої комбінованої системи автоматичного регулювання положення петлі заготовки на ливарно-прокатному модулі Запорізького алюмінієвого комбінату призвело до збільшення продуктивності ЛПМ на 3 %.

**ВИСНОВКИ.** На підставі створеної математичної моделі у редакторі Visual Basic пакета Microsoft Visual Studio 6.0 виконано імітаційне моделювання процесу формування заготовки при виробництві алюмінієвої катанки на ливарно-прокатному модулі та досліджено комбіновану САР положення петлі заготовки, яка працює не тільки за відхиленням регульованого параметра, а й за збуреннями, що виникають із боку ливарного колеса та прокатного стана. Експлуатація розробленої системи автоматизації на діючому виробництві призвела до збільшення виробництва алюмінієвої катанки на 3 %.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Таран Ю.П., Николаенко А.Н. Исследование температурных деформаций заготовки при непрерывном литье алюминия // *Металлургия (Научные труды ЗГИА)*. – Запорожье: ЗГИА, 2007. – Вып. 16. – С. 139–144.
2. Таран Ю.П., Николаенко А.Н. Исследование влияния работы прокатного стана на формирование заготовки при непрерывном литье алюминия // *Металлургия (Научные труды ЗГИА)*. – Запорожье: ЗГИА, 2011. – Вып. 25. – С. 144–147.
3. Васильев А., Андреев А. *VBA: Учебный курс*. – СПб.: Питер, 2001. – 432 с.
4. Пат. № 69836 UA, МПК(2012.01) G05D 13/00. Спосіб керування процесом формування алюмінієвої заготовки / Николаенко А.М., Таран Ю.П., Чумак Є.Т. (Україна). – # у 2011 14017; Заявл. 28.11.2011; Опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9.

#### DESIGN OF AUTOMATION SYSTEM BY MEANS OF MICROSOFT VISUAL BASIC

**A. Nikolayenko, E. Chumak, Yu. Taran**

Zaporozhye State Engineering Academy

prosp. Lenina, 226, Zaporizhzhya, 69006, Ukraine. E-mail: tetri@ukr.net

The mathematical model of the workpiece length on the casting-rolling unit is obtained by means of Visual Basic Microsoft Visual Studio 6.0 – the system of object-oriented visual programming package; the combined automatic control system of hinges position on the billet on casting-rolling module is developed, and its implementation to production at the Zaporozhye Aluminum Plant has led to an increase in casting-rolling module productivity up to 3 %.

**Key words:** casting wheel, rolling mill, billet, wire rod, simulation model, software module, automatic control system.



#### REFERENCES

1. Taran Yu.P., Nikolayenko A.N. The study of thermal deformations during aluminum continuous casting // Metallurgy (Scientific papers of ZSEA). – Zaporozhye: ZSEA, 2007. – Iss. 16. – PP. 139–144.
2. Taran Yu.P., Nikolayenko A.N. Research on the influence of the rolling mill on the formation of billet during continuous aluminum casting // Metallurgy (Scientific papers of ZSEA). – Zaporozhye: ZSEA, 2011. – Iss. 25. – PP. 144–147.
3. Vasiliev A., Andreev A. VBA: Training Course – St. Petersburg, 2001. – 432 p.
4. Pat. № 69836 UA, МПК (2012.01) G05D 13/00. Control method of the process of formation of aluminum billet / A.N. Nikolayenko, Yu. Taran, E. Chumak (Ukraine). – # u 2011 14017: Appl. 28.11.2011, Publ. 10.05.2012, Bull. № 9.



Ніколаєнко Анатолій Миколайович,  
к. техн. наук,  
професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Запорізької державної інженерної академії,  
просп. Леніна, 226, м. Запоріжжя, 69006, Україна,  
Тел. 0979260802,  
E-mail: [tetri@ukr.net](mailto:tetri@ukr.net)



Чумак Євген Тимофійович,  
магістрант кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Запорізької державної інженерної академії,  
просп. Леніна, 226, м. Запоріжжя, 69006, Україна,  
Тел. (0612) 42-62-68,  
E-mail: [jacknmm@gmail.com](mailto:jacknmm@gmail.com)



Таран Юрій Павлович,  
провідний інженер Державного інституту проектування промислових підприємств,  
бул. Центральний, 3, кв. 224, м. Запоріжжя, Україна,  
Тел. (061) 233-66-85,  
E-mail: [upt2006@ukr.net](mailto:upt2006@ukr.net)

Стаття надійшла 05.12.2013  
Рекомендовано до друку  
д.техн.н., проф. Чорний О. П.